



TITLE:

# 【部局史編 2】 第19章: 木質科学研究所

AUTHOR(S):

京都大学百年史編集委員会

---

CITATION:

京都大学百年史編集委員会. 【部局史編 2】 第19章: 木質科学研究所. 京都大学百年史 : 部局史編 ; 2 1997: 1032-1089

ISSUE DATE:

1997-09-30

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/152963>

RIGHT:

## 第1節 総 記

### 第1項 設立から改組・拡充・名称変更まで(1944～91年)の沿革

木材学に関する研究機関設立の要望が高まり始めたのは昭和15(1940)年頃であり、森林国であるわが国としてはむしろ遅すぎた感じであるが、当時はまだ時期尚早として実現に至らなかった。

戦局が進むに従って、国産資源である木材の要求度と重要性がますます高まり、本学では羽田亨総長の発意で、木材工学研究所設置計画が進められることになった。大杉繁農学部長、佐藤彌太郎教授、梶田茂教授らが中核となり、理・工学部の関係教官にも参画を呼びかけて、6講座編成の木材工学研究所案がまとまったのは昭和18(1943)年の暮れであった。

同じ頃、九州帝国大学荒川文六総長からも同種の研究所を設置したいという強い要望が文部省に出されており、昭和19(1944)年5月19日勅令第354号による官制が公布されて、京都帝国大学と九州帝国大学に各3講座からなる「木材研究所」が附置されることになった。京都大学の木材研究所の初代所長には、当初からの計画推進者であった農学部木材工芸学講座担任の梶田茂教授が就任した。

その後、九大の木材研究所は「生産科学研究所」に移行したため、本学の木材研究所がわが国では唯一の木材学専門の大学研究機関となった。

本研究所が発足した当時は、既に国家危急の時期であり、研究室の新営は

---

\* 扉の写真は、木質材料実験棟(木質ホール)。

不可能であったため、農学部所属の建物を借りて研究が開始された。しかし、戦後いち早く現所在地(宇治市五ヶ庄)の東京第2陸軍造兵廠宇治製造所跡地の一部転用を申請し、昭和22(1947)年4月1日その使用許可を得ると同時に、研究室の大半はここに移転集結した。

当時の本研究所は約19haの敷地を持ち、ここに延べ約1万㎡の元工場建物が散在していた。これらを順次改造補修して研究の場としてきたが、昭和25(1950)年学制改革に伴う新制大学への切り替えに当たって、一部を教養部(京大宇治分校)に提供した。昭和36(1961)年の宇治分校廃止後、これらの建物は工業教員養成所に引き継がれ、続いて工学部附属施設、防災研究所の一部などが設けられた。さらに昭和39(1964)年、宇治地区に本学附置の化学・工学・木材・食糧科学・防災の5研究所からなる合同総合館の新営が決定し、本研究所は全面的にこれに賛成して、その敷地を提供することになった。本研究所建物は工学研究所(現：原子エネルギー研究所)新館に接して建設され、昭和42(1967)年2月中旬に移転した。本研究所は、当初、「木材物理」「木材化学」「木材生物」の3講座(研究部門)で発足したが、その後の学問の発展に伴い、上記各研究部門にそれぞれ物理3、化学3、生物2の計8研究室を設け、さらに製紙・繊維板両試験研究室、製材木工・製紙・繊維板の3試験工場を加えて運営されてきた。しかし、これらの研究室制度では、この間の著しい学問の発展に対応できる総合的な機能に欠けることが認識されるようになり、昭和38(1963)年に「木質材料」研究部門が増設されたのを契機に、木材物理・木材化学・木材生物・木質材料の4研究部門制に統合された。

研究所本館が新築落成された昭和42(1967)年、「リグニン化学」研究部門が増設された。さらに昭和50(1975)年、「樹木形成研究用ファイトロン室」が新営され、昭和54(1979)年には附属施設として「木材防腐防虫実験施設」(時限7年)が設置された。翌昭和55(1980)年、同施設研究棟の新営に伴い、昭和38(1963)年設営のシロアリ飼育室は同施設に統合された。続いて昭和58(1983)年には「材鑑調査室」が設置され、また昭和59年には木材防腐防虫実

験施設の時限到来に先立って、「高耐久性木材開発」研究部門(時限10年)が増設された。

## 第2項 改組・拡充と名称変更

本研究所は設立以来、木材を航空機・船舶・車両・建築・家具等の材料として、また、紙・パルプ・繊維・化成品として利用する際の構造・物性・加工特性・化学的性質の解明、ならびに木材の改質処理や木質複合材料の製造に関する基礎的な研究において数多くの研究成果をあげ、木材に関するわが国唯一の大学附置研究所として、社会の発展に大いに貢献してきた。

一方、この間の研究成果により、木材が他材料では見られないユニークな優れた特性を多く持つこと、さらにそれらはすべて木材が樹木の生命活動により形成された、極めて精緻な細胞壁構造からなる生物材料で、木材特有の基質、すなわち「木質」からなることに帰着することが明らかになった。

従来、本研究所は、研究手法により分類された設立当初からの「木材物理」「木材化学」「木材生物」の3研究部門と、その後設置された特定分野を対象とする「木質材料」「リグニン化学」「高耐久性木材開発」の3研究部門が交ざり合った形で研究活動を行ってきた。しかし、学術研究の進展に伴い、この分野の研究は、木材を単に材料・原料として扱う従来の「木材研究」の範囲にとどまらず、木材を生物材料としてとらえ、その基質である「木質」を遺伝子発現にまで遡って育成制御する研究分野、ならびに人と「木質」との触れ合いの科学である木質環境科学に見るような、医学・心理学・建築学等にまたがる学際領域の研究分野を含むようになってきた。

このような研究の流れの中で、1つの研究部門内においても研究内容が多岐にわたり、個々の研究者が1つの研究領域を代表するまでになってきた。また研究内容の広がりとともに、部門間の連携が従来以上に必要とされ、部門の枠や分野を超えての共同研究が一般化してきた。

本研究所は、これに対応するため、昭和48(1973)年以来恒常的に将来計画

委員会を設置し、この委員会を中心に研究所の将来を展望し、それに対応できる研究組織のあり方を繰り返し検討してきた。その結果、上述の発展を遂げてきた「木質科学」を研究対象とする新しい研究体制の必要性が明らかとなり、平成3(1991)年に、「木材研究所」から「木質科学研究所」への名称変更と、



写真19-1 木質科学研究所創立50周年記念式典(木質ホール)

6研究部門から3大研究部門・1客員部門への改組・拡充を行った。新しい研究組織の構成と研究活動は、第2節第2項に記述されているが、新組織の主な特徴は、研究領域が木質の遺伝子発現から木構造建築、さらに木質環境に及ぶ広い範囲に拡大されたところにある。

この拡充に伴う新営建物は平成6(1994)年に竣工した。大断面集成材によるこの木造3階建て構造物は「木質材料実験棟」(通称木質ホール)と称され、戦後の国立大学では最初の木造による研究・実験棟として注目されている。

1階は主として木質構造の耐力・耐久性の実大試験と耐火・耐久性木質新素材の開発研究のための実験室であり、2階は研究室で、情報処理機能を中心に整備されている。3階は、宇治地区内に適当な国際学術セミナー等の会場がないことを考慮して、講演会場、会議室、セミナー室の3機能を独立的・機能的に充足できる30~300名収容可能な、居住性実験を兼ねた集会の場となっている。

### 第3項 教育および社会的・国際的活動

本研究所は、昭和40(1965)年以来、農学部林産工学科の各講座とともに本学大学院農学研究科林産工学専攻を構成し、林産工学科と協力しつつ、全研

## 第19章 木質科学研究所

研究所スタッフによる大学院生の教育研究の指導を行っている。また、要請に応じて同学科3・4回生対象の選択科目、全学共通の1・2回生対象の自然科学系科目のほか、他大学の学部・大学院においても専門科目の講義を行っている。

一方、昭和36(1961)年以来、毎年主として大阪市内において「木研公開講演」を開催し、研究機関および木材産業関連企業を対象に、研究成果を解説している。また、昭和57(1982)年から、農学部林産工学科と協力し、青少年教育に携わる中学・高校教育者や一般市民を対象に、京都大学公開講座を毎年開催し、木材の良さ、資源としての重要性、木の文化、人と木のかかわりなどについての知見を広く伝えている。

本研究所の研究成果は国内外の学会誌等に広く発表されているが、研究所独自でも昭和24(1949)年より研究報告『木材研究』を刊行してきた。昭和45(1970)年からは英文誌と和文誌に分け、“Wood Research”および『木材研究・資料』として刊行している。交換を希望する研究機関は年々増加し、現在、外国239、国内521の機関に送付している。

国際交流の面では、環太平洋諸国、東南アジア諸国との共同研究が昭和55(1980)年頃から活発に行われ、現在もインドネシア応用物理学研究・開発センターとマレーシア農科大学との共同研究が進行中である。また、中国、韓国、東南アジア、欧州、南米など世界各国からの留学生・共同研究員を多数受け入れている。

本研究所沿革の主な事項は以下のとおりである。

昭和19年5月19日	官制(勅令第354号)が公布され、本学に木材物理、木材化学、木材生物の3研究部門よりなる木材研究所が附置された。
昭和24年5月31日	国立学校設置法が公布され、当所は京都大学附置と改まり、同時に官制の勅令は廃止された。
昭和38年4月1日	木質材料研究部門が新設された。
昭和42年5月19日	研究所本館の新築、移転が完了した。

## 第1節 総 記

6月1日	リグニン化学研究部門が新設された。
昭和54年4月1日	木材防腐防虫実験施設が設置された。
昭和59年4月11日	高耐久性木材開発研究部門が新設された。
平成3年4月12日	3大研究部門・1客員部門へ改組・拡充され、木質科学研究所に改称された。
平成6年2月15日	木質材料実験棟が新設された。

## 第2節 研究活動

### 第1項 創立から改組・拡充まで

#### 1. 木材物理研究部門(1944～90年)

木材は、軽くて強く、加工性に富むなど、材料として優れた特性を持つことから、古来、住宅用の材料として、また、家具、楽器、工芸品の材料として、広くかつ多量に利用されてきた。第2次大戦中、諸資源供給状態の悪化に伴い、木材資源の新しい利用が強く望まれていた。しかし、その基礎となる木材研究は、欧米諸国に比べ著しく立ち遅れていた。このような状況にあつて、木材科学の精密科学化を目指し、また、木材工業の発展に貢献すべく当部門の研究が開始された。

昭和19(1944)年の研究所創立当時、当部門は、3研究室に分かれ、各研究者の自主性が強調され、また、学部関係者の協力を得る体制のもとで、研究が開始された。その内容は、基礎・応用を問わず、住宅材料としての木材や木質材料の特性解明、欠点の改良、加工装置・機械の開発などが中心となった。昭和38(1963)年、当研究所に木質材料研究部門が新設されたのを機に、研究室制や学部関係学科との協力体制が廃止され、以後、平成3(1991)年の改組・拡充まで、1部門1研究室で研究が進められた。この時期の研究内容は、前期には、木材の物性と構造の関係を明らかにする基礎的なものを中心となったが、後期には、木材の利用を目的としたものへと展開されていった。平成3年の改組・拡充後には、これらの研究の多くは、木質バイオマス研究部門の物性制御分野に受け継がれていった。昭和19(1944)年5月から昭和38(1963)年3月までを第1期、昭和38年4月から平成3年3月までを第2



期と呼んでいる。

第1期の木材物理第1研究室では、梶田茂教授が中心となり、水と木材、木材の寸法安定化、木材接着の研究などが行われた。水と木材の研究は、水分の吸着機構および収縮・膨張の原因解明に焦点が絞られ、中戸莞二(農学部助手)、福山萬治郎(農学部助手)、山田正(大学院生)によって進められた。昭和27(1952)年頃までに、細胞壁内の吸着点に水分子が吸着すると、内部表面が拡大し、吸着点が新生するとするアイデアによって、木材のS字形吸着等温線を表現する吸着式が導かれた。また、木材の接線方向と放射方向の収縮・膨張の異方性は、細胞の配列様式などの高次構造だけでなく、細胞壁の方向による構造や寸度などの相違に基づいて現れることが、実験的に明らかにされた。これに関連して木材の電気抵抗が含水率によって変化することを応用して、畔柳鎮(農学部助手)および中戸が中心となって、木研式木材含水率計が開発された。木材の寸法安定化の研究は、後藤輝男助教授が中心となり、木材化学第3研究室の荒木幹夫の協力を得て、第1期を通じて進められた。樹脂注入やホルマール処理による寸法安定化が検討され、寸法安定化機構の解明とともに、最適処理条件が多くの実験データより決定された。木材接着に関する研究では、レゾルシノール樹脂、尿素樹脂、フェノール樹脂、ポリ酢酸ビニル樹脂などを用いた場合の接着条件と接着力との関係や、耐久性などについて、第1期を通じ、後藤が中心となり、初期には、元根脩泰、脇田勝之、後期には川村緑、作野友康などによって行われた。また、ファイバーボード製造の研究が、昭和28(1953)年頃より始められ、添加するサイジング剤がボードの耐水性、耐久性、強度などに及ぼす影響について検討された。この研究は、黒木康雄助手、中野良治、波多野宏によって進められた。

木材物理第2研究室では、満久崇麿教授が中心となり、木質材料の製造や性質に関する基礎・応用研究が行われた。基礎的研究としては、第1期の初期に、乾燥と熱伝導の研究が満久によって、後期に、木質材料についての応力解析の研究が佐々木光助手によって進められた。乾燥の研究では、木材の

定常乾燥における乾燥経過と水分傾斜から、水分拡散方程式を解いて、乾燥条件についての理論的検討が加えられた。この頃、高周波乾燥に関する基礎データが、浜田良三(大学院生)らの協力で得られた。熱伝導の研究では、熱拡散方程式の解が各種の境界条件で求められ、木質材料の熱圧における条件の設定に重要な指針が与えられた。応力解析の研究では、応力塗膜法と光弾性法を適用する場合の基本的問題点が検討され、実際面で重要となる場合についての応力解析が行われた。応用研究としては、パーティクルボード製造の研究があり、昭和28(1953)年に満久らによって、原料製造用機械の設計・試作が行われ、以後、製造条件と材質の関係、材質の改良などの研究が、満久、浜田、佐々木によって、第1期を通じ進められた。また、後期から、木質材料、特に、ファイバーボードの難燃化に関する研究が、石原茂久助手を中心に始められた。多くの薬剤の難燃効果が調べられ、また、木材の熱分解機構や難燃機構が検討された。木質材料の製造、応力解析、難燃化の研究は、昭和38(1963)年に木質材料部門が増設されてより、その部門の研究課題として継続されることになった。

木材物理第3研究室では、杉原彦一助教授が中心となり、木材の切削、切削機械に関する理論研究、開発研究、および木材の破壊機構に関する基礎研究などが行われた。切削や切削機械の研究は、杉原により、昭和24(1949)年頃から進められた。帯鋸刃自動目立の寸度安定、製材における最適刃角条件、挽材条件の決定、新型目立機の試作が、続いて、昭和31～33年には、北海道大学工学部の土肥修教授、菊川・秋木・富士3機械メーカーの協力で、往復製材用両鋸刃製材と製材機の試作、昭和33～35年には、土肥、佐々木功(農学部講師)、角谷和男助手の協力で、穿孔帯鋸の実用化の研究が行われた。また、野口昌巳(農学部助手)とともに、切削刃の性能を判定するための振子式試験機が考案された。その後、杉原が本学農学部に転出したことに伴って、木材の切削に関連する研究は、そちらで継続された。一方、破壊機構の研究に関連して、木材の強度については、第1研究室において、福山、佐々木竜樹ら、第2研究室において、満久、佐々木光らにより、それぞれ研

研究が行われていたが、昭和35～37年に、角谷によって、木材の破断面の成長速度の測定や、確率過程論を応用した破壊機構の解明がなされた。これと関連して、木材や木質材料の強度低下に影響する欠陥を非破壊的に検出する方法として、超音波透過法が検討された。また、神田俊也、村田房乃助、野口によって、釘の保持力の研究が行われた。

第2期には、本学農学部より山田正を教授として迎え、研究部門の陣容がほぼ一新されることになり、研究課題が、木材の変形と構造の関係を明らかにする物性に関する基礎研究に絞られた。研究が開始されるに当たって、木材の粘弾性変形について、研究報告のデータを収集・分類することが行われ、その後、水分応力や生長応力などについても広げられた。それらは、木材力学資料として、研究所紀要の『木材研究・資料』に、昭和40(1965)年より平成元(1989)年までの期間発表された。この作業により、研究の現状と解決すべき問題点が整理され、明確にされた。

木材は、細胞が構造の基本単位となった天然のセル構造体である。したがって、木材の物性には、年輪や、細胞の形状・配列などの様式が大きく影響し、樹種依存性、樹種内偏差や、異方性などが発現する。また、人工のセル構造体と違って、細胞の壁は、主に3成分より構成され、それらが物理的・化学的に混合し、極めて複雑な層構造や結晶・非結晶構造などの複合構造を形成して、それぞれが木材の物性に複雑に寄与している。微細構造と物性の研究では、非結晶領域における分子運動を明らかにするため、粘弾性への水分・温度の影響について、詳しく調べられた。種々の温度・湿度一定の平衡の条件、あるいはそれらが非平衡の条件で、木材のクリープ、応力緩和、振動、硬球圧入、反りなどの測定が、則元京助手、大迫靖雄助手、高原省吾助手、金川靖(大学院生)、岡康寛助手、佐々木徹助手、森光正(大学院生)らにより行われた。また、クリープ測定と赤外吸収スペクトル変化の同時測定が、角谷により行われた。また、広い温度、周波数にわたる木材の誘電測定が、則元、田中利秋によって、広角および小角X線回折測定が、野村隆哉助手によって行われた。その後、木材を化学処理したものや化学処理過程での

測定が、ライン(S. Hlaing、ビルマ(現：ミャンマー)、大学院生)、青木務技官(教務職員)、則元らによって行われた。以上の研究により、細胞壁の粘弾性変形には、セルロース結晶の表面やマトリックス成分の分子の一級水酸基の運動や、ミクロブラウン運動の寄与が大きいことが明らかにされ、また、木材の吸着水が木材の粘弾性変形に与える影響が明確にされた。

高次構造と物性の研究では、特に、木材の繊維に直角方向の変形が取り上げられ、弾性率、剛性率、ポアソン比などの弾性定数や収縮率の異方性や、比重依存性が実験・理論の両面より解析された。木材の変形やその異方性には、細胞の横断面の形状と、細胞の配列様式が大きな影響を及ぼしていることが、モデル計算などによって明らかにされた。これらの研究は、山田、金谷紀行(大学院生)、大釜敏正技官(教務職員)、師岡淳郎(大学院生)、松原修らによって進められた。また、誘電特性と高次構造の関係について、則元、田中利秋らによって、理論的な解析が行われ、両者の関係や異方性などが定量的に解明された。これらの微細構造や高次構造と物性に関する研究は、昭和50(1975)年頃まで、部門の中心研究課題の1つとして精力的に行われた。

また、昭和44(1969)年頃より、木材の構造が形成される過程における物性研究が、生長の各段階で生長ホルモン処理したクロマツ幼苗のクリープ測定や、外力下でのスギ材形成と物性の測定、形成竹の生長段階における物性の測定などによって、角谷、野村、長谷川庸作(大学院生)らによって進められた。この研究は、樹木形成用ファイトロンが設置された昭和50(1975)年頃より、木材形成過程での材質人工制御を目指した基礎研究へと発展し、樹木成長過程における生体リズムと細胞形態、分裂頻度との関連や、生体電位の変化などの研究が、角谷、坂本正弘により進められた。その後、木材形成過程の研究は、角谷が木材生物部門の教授として移動後、木材生物部門の研究課題として、継続されることになった。

木材の物性と構造に関する研究において、一応の成果が得られた昭和50年頃以降、部門の中心課題が応用のための目的基礎研究に向けられた。研究として、木製楽器用材の選別と改質、木材と居住環境、木材の曲げ加工、新規

セルロース誘導体の開発などが取り上げられた。これらの研究は、平成2(1990)年4月、教授として則元が就任後も継続して行われた。

木製楽器用材の選別と改質については、企業との共同研究により、ピアノ響板選別のための指標の決定と選別機械の開発、ピアノピン板の化学処理による改良や、バイオリン、ギター響板のアセチル化やホルマール化処理による改質、木材を振動板に用いたスピーカーの開発、木材の枯らし、木質材料の振動特性などの研究が精力的に進められた。これらの研究で、木材の音響的性質を評価する指標として、比重、内部摩擦、比ヤング率などが重要であること、測定方向、含水率を問わず、木材の内部摩擦の対数と比ヤング率の対数の間に、極めて相関の高い直線関係が存在すること、それが2次壁中層のマイクロフィブリル傾角に関係すること、化学処理によって、木材の音響的性質を著しく変化させ得ることなどが明らかにされた。これらの研究は、則元、および大学院生の矢野浩之、生宗里佳子、佐々木隆行、川井秀一、宮本英樹、堀尾慶彦らによって行われた。

木材と居住環境の研究では、全国規模の共同研究が組織され、進められることになった。当部門では、木材の湿度調節機能に関する研究が分担された。この研究では、住宅内装材料の湿度を調節する度合を実験室規模で簡便に決定する装置が開発され、多種類の材料について、その度合の決定や分類がなされた。また、実際、実寸のモデルハウスを用いて、それらの材料を内装した場合の湿度調節の程度が観測された。これらの結果をもとに、複数の材料で内装した住宅における湿度変動の程度を予測する湿度設計法が検討された。これらの研究は、則元、青木、牧福美(研修員)によって進められた。共同研究の成果は、『木質環境の科学』と題する単行本にまとめられた。これらの研究は、改組に伴う木質住環境部門(客員)の新設に多大に貢献した。

木材の曲げ加工の研究は、木材の粘弾性と誘電性に関する基礎研究の結果の応用として計画された。吸水した木材にマイクロ波を照射する過程で木材が軟化し、可塑性が増すことを応用して、木材を曲げ加工する技術が開発された。また、曲げ加工による高次構造の変形の様子や、変形のドラインゲセ

ットの機構が明らかにされ、曲げ加工性に優れた木材の選別法が検討された。これらの研究は、則元らによって行われた。曲げ加工の研究は、横圧縮による木材表面圧密加工へ受け継がれた。スギなどの軟質の木材を床や家具などの材料に利用するため、製材の表層に繊維に直角に溝加工し、溝を通じて繊維方向に低分子の樹脂水溶液を注入後、マイクロ波加熱により表層のみを選択的に軟化し、圧縮、固定する技術が、則元、井上雅文(大学院生)らによって開発された。その後、さらに、これらの研究は、熱処理および高圧水蒸気処理による木材の圧縮処理へと発展し、改組後の物性制御分野の研究課題へと受け継がれていった。これらの研究は、井上、則元らによって進められた。

新規セルロース誘導体の研究は、則元、青木らが、農学部白石信夫教授らと行った木材を化学処理によってプラスチックに変換する研究を契機として始められた。木材の代わりにセルロースを原料にして、新規プラスチックを調製することを目的としたものであった。セルロースをパラホルム/ジメチルスルホキシド(DMSO)に均一に溶解後、エステル化やエーテル化処理したり、過ヨウ素酸酸化などを行って、新規のセルロース誘導体を調製し、フィルム化して、その物性、特に、分子運動と構造の関係が調べられた。この研究は、白石の協力を得て、平林靖(北海道立林産試験場)、則元によって、その後、師岡らによって進められた。この研究は、化学処理木材の物性と構造に関する研究へと発展していった。木材を種々の化学処理をして構造を変化させ、クリープや振動特性などの物性を測定し、一方では、モデル解析による理論的な考察によって、化学処理木材の構造と物性の関係が明らかにされた。これらの研究は、木材の物性を制御して、楽器用材の改質、寸法安定性の付与など、木材の諸性能を向上したり、木材に新しい機能を付与し、有効利用することを目的としたものであった。これらの研究は、グリル(J. Gril、フランス)、秋津裕志(大学院生)、則元らによって進められ、改組後、物性制御分野の研究課題へと受け継がれていった。

第2期の後半においては、これらの目的基礎研究のほか、第2期の当初よ

り継続して進められてきた、木材の物性と構造に関する基礎研究がある。主なものに、細胞壁構造と弾性率に関する研究、細胞形態と放射方向の弾性率に関する研究、広葉樹材の構造と誘電特性に関する研究、木材に吸着した水の誘電緩和に関する研究、メカノソープティブクリープに関する研究、木材の熱軟化に関する研究などをあげることができる。これらの研究により、木材の弾性率や誘電率が木材のミクロからマクロに至るすべての構造を考慮して、理論的に算出され、各構造の寄与の程度が定量的に明らかにされた。また、木材に吸着している水の誘電緩和の機構や吸着状態がかなり解明された。これらの研究は、則元、大釜、グリル、趙広傑(中国、大学院生)、西野吉彦(大学院生)らによって行われ、改組後、物性制御分野における基礎研究課題として受け継がれていった。

### 2. 木材化学研究部門(1944～90年)

木材研究所が創設された年、すなわち終戦前年の秋から翌昭和20(1945)年春にかけて、木材化学部門に専任教授1名、兼任教授2名、助教授、講師、各1名の発令があり、木材乾留や接着剤などの研究がスタートした。研究所発足当初は戦時中であり、戦火から逃れるために宇治の山林に疎開予定地の調査をした。しかし、幸いなことに、疎開をすることなく無事終戦を迎えた。終戦とともに、応召中の講師も帰還し、木材研究所の新たな活動が始まった。梶田所長を先頭に探索していた研究所建設地が宇治の元火薬製造所跡に決定した。わずか2年前に盛んに軍需生産をしていたとは思われぬ荒廃した建物に、化学第1・第2研究室が各々間に合わせの実験設備を持ち込み、研究活動を再開した(昭和22年)。その後、数年の間に研究室の改装、製紙試験工場および製紙試験研究室の設置、化学第3研究室の宇治転入が完了した。以下に、主として研究所報告『木材研究』を参考として化学関係の業績を記述する。

#### a 第1期

木材研究所は創立当初、研究室制をとっていたので、木材化学第1、第

2、第3研究室の構成で発足した。木材化学第1研究室は創立時、館勇教授(農学部兼任)を主任として発足し、パルプ、セルロース、ヘミセルロース、リグニン、抽出物および木材成分の化学的利用を研究対象とした。館はヘミセルロースの木材化学における重要性を認識し、門下の関連した研究を指導した。「ヤマザクラのヘミセルロースの研究」2編が最初に発表されて以来、クロマトグラフ法が多糖化学の分野に導入されたこともあわせ、ヘミセルロースの研究は飛躍的に進展した。その一連の研究の中で、越島哲夫助手らによる「針葉樹グルコマンナンに関する研究」は学界に注目された。館はリグニンにも深い関心を示し終戦直後の困難な中で、リグニンの水素化分解の研究を行い、またアルカリ酸化解解に関する数多くの研究を推進した。後に製紙試験研究室が設置された昭和25(1950)年を機会に、パルプ・紙に関する研究も並行して行われた。化学パルプの製造における脱リグニン機構に関する研究数編、人絹用パルプの鉄およびマンガンの定量、ポーラログラフ法による人絹パルプ灰分の定量、広葉樹レーヨンパルプの研究、メタセコイアのパルプ化研究、屋久島産広葉樹のパルプ原木的研究、北海道産広葉樹のパルプ原木的研究、人絹用パルプ中のマンノース残基の研究などの報告が発表された。パルプ原木として広葉樹利用が検討されつつあった情勢に関連したものが多かった。また北海道産主要広葉樹シラカバよりのレーヨンパルプが、異常な樹脂を含む原因の追究、樹脂の除去、樹脂成分の有機化学的研究を取り扱った北尾弘一郎教授らによる10編の「広葉樹パルプの髄線細胞の研究」がある。その他、小林穆(元当所助教授)らによるパルプ排液の河川汚染の本質を研究した5編の報文と廃材利用の観点から取り上げた活性炭に関する研究4編がある。

昭和37(1962)年、多大の業績を残して、館は停年退官した。以後は、北尾が主任を引き継いだ。

木材化学第2研究室は井上吉之教授(農学部兼任)を主任として発足し、木材防腐剤、防虫剤に関する研究および関連試験法ならびに実地効力試験の広範な研究に多大の業績をあげた。



初期の研究には、硫黄処理した松根油の殺菌性、ピネン酸化物、松根油塩素化合物の殺菌作用の検討とその木材防腐剤への応用が進められた。本研究は、後の有機塩素系化合物の研究への端緒となった。昭和25(1950)年、井上らによる木材防腐剤に関する研究の第1報が報告されて以来、24編の研究成果が発表された。なかでもPCP-Na(Pentachlorophenol-Nasalt)に関する一連の研究によって、木材中のPCPの検出法を見出し、PCP-Na水溶液の木材への浸透性の不良原因を追究し、浸透、注入法に改良を加えるなどの成果を得た。

昭和34(1959)年、多大の業績を残して、井上は退官した。以後は西本孝一教授が引き継ぎ、従来の防腐処理法の概念を脱した新しい方法として、木材の化学変化による防腐処理法を発表した。これと前後して、新しい木材防腐剤として有機水銀、錫化合物に関する研究も行われ、数多くの水銀化合物の化学構造と木材腐朽菌に対する殺菌性との関係、耐光性、防腐効力などについて10編の報文が発表された。また、木材防腐剤の試験法を確立するため、万能老化試験機(ウェザーメーター)による耐候操作について、実験計画法について、油性防腐剤の防腐効力について研究された。さらに拡散式防腐処理法に関し、薬剤の濃度と浸透度との関係、塗布量と浸透濃度、量との関係などの研究が同時に行われた。

昭和38(1963)年、本研究室は木材化学研究部門より離れて、木材生物研究部門に統合されることになったため、それ以後の研究活動は木材生物研究部門の項で記述する。

木材化学第3研究室は当初、小西行雄教授を主任として発足し、木材接着剤の分野を担当した。小西は昭和25(1950)年、京都工芸繊維大学へ転出したが、なお兼任として在任した。「注入木材に関する研究——チオ尿素樹脂の研究」「合成樹脂の浸透と注入条件の研究」などの報文が、その間発表された。昭和23(1948)年以降、兼任として、研究所の研究活動に参画していた後藤良造教授(理学部兼任)は小西の転出後、本研究室を主宰し、専任の助手荒木幹夫を宇治に置いた。野津龍三郎、後藤一門によって行われた木材に関す

る報文は、アセトン・ホルマリン樹脂の製法、接着剤および成型物への応用などを内容とする「木材類の接着に関する研究」8編をはじめ、ミツマタ白皮およびネリの多糖類の構造と粘質液の性質を追究した「手すき和紙に関する研究」7編がある。また林産精油の利用に関する有機化学的研究として「パラサイメンの酵素による酸化」4編も発表された。その他、木材物理第1研究室との共同研究「木材のディメンジオナルスタビリティ」に関する研究では、木材とホルムアルデヒドとの反応における触媒の影響、反応条件の影響等の検討がなされ、その反応機構について詳細な研究が後藤(輝男)、荒木により行われた。その成果は昭和39(1964)年までに12報の報文として発表された。

製紙試験研究室は昭和25(1950)年、本研究所に長網式抄紙機(70cm幅)およびビータ、ボイラーなど一連の附属設備を有する製紙試験工場が設置されたのに伴って発足し、館がこの研究室を兼任した。当時、本試験工場は他の研究機関に類例を見ない存在であったので、種々の中間試験に関連して製紙関係業界に貢献するところ多大であった。木材化学第1研究室にあった木村良次助教授は、ここに転じた。製紙試験研究室は製紙試験工場を管理するほか、パルプおよび製紙に関する基礎研究を行い、館、木村良次、寺谷文之助手らによる多数の研究報告が発表された。「碎木パルプの研究」10編、「パルプ及び製紙に関する研究」23編の中には製紙用パルプ原料としての広葉樹の蒸解、広葉樹・針葉樹混合クラフト蒸解、紙力強度、パルプ中のリグニンと紙力との関係、叩解度と紙力との関係、パルプ解砕機およびポンプについての考察、パルプの化学的崩壊と試験紙葉の強度への影響、堅型回転式スクリーンの設計ならびに考察、紙の空気抵抗、広葉樹ケミグランドパルプの研究、紙の透気度、合成繊維を用いたシートの性質がある。また木村はかつて南方産パルプ資源を調査して得た体験を「パルプ用材としての南ボルネオ材の調査研究」にまとめた。

昭和37(1962)年、館が停年退官したのに伴い、以後は木村が本研究室を継承した。

## b 第2期

昭和38(1963)年に、木質材料研究部門の増設に伴い、研究組織の統合改組が行われ、研究部門制をとることになった。その結果、木材化学第2研究室は木材生物研究部門に転じ、第1、第3および製紙試験研究室は併合して、木材化学研究部門として発足し、北尾が部門主任として就任した。旧木材化学第1研究室で行われたヘミセルロースを主体とする多糖類に関する研究は、その後前川英一助教授、北尾による竹材および関連多糖類の研究に引き継がれ、10報の研究報告が出された。「竹材のヘミセルロースに関する研究」は、前川によって後に総説にまとめられた。

旧木材化学第3研究室で行われた木材ホルムアルデヒド処理に関する研究は、その後荒木によりセルロースを対象として反応機構の検討がなされ、2編の報文が発表された。リグニンの研究は木材化学における重要課題であり、多年、リグニナルプ排液に関する研究を行ってきた小林に引き継がれ、後にリグニンの熱分解生成物の研究に発展した。その成果として、「各種広葉樹のニトロベンゼンの酸化生成物のガスクロマトグラフィ」「リグニンの熱分解生成物のガスクロマトグラフィ」の報文が出された。

昭和42(1967)年、リグニン化学部門の増設に伴い、木材化学部門におけるリグニンを対象とした研究は新部門に引き継がれた。また抽出成分に関する研究は、シラカバ材樹脂成分の研究を契機として、本研究部門における主要研究課題として継承された。北尾らによるヌルデ材のタンニンの研究、熱帯材の抽出成分に関する研究など6編の研究成果が発表された。荒木が京都工芸繊維大学へ転出した後、これらは佐藤惲助教授に引き継がれ、木材フェノール性物質のトリメチルシリル化誘導体のガスクロマトグラフィおよびメタセコイアの抽出物の研究が行われた。樹木抽出成分に関しては北尾、佐藤によって『樹木成分集』としてまとめられた。その後、佐藤のリグニン化学部門への転出に伴い、抽出成分に関する研究は榎章郎助手、池田俊弥(大学院生)に引き継がれ、アピトン樹脂中の新セスキテルペン炭化水素および樹脂酸の光酸化分解生成成分に関する研究4報が発表された。

旧製紙試験研究室では、その後、特殊紙、加工原紙の研究に発展し、木村、寺谷によって特殊紙原紙としてのタバコ茎パルプの研究、および樹脂含浸紙による蓄電池セパレーターの研究などが行われ、8編の研究報告が発表された。寺谷は昭和38(1963)年、農林省林業試験場へ転出した。

### c 第 3 期

昭和49(1974)年、木村が、また昭和50(1975)年、北尾が相次いで停年により京都大学を退官した。北尾の後任として、昭和50年、越島哲夫が木材化学部門の教授に就任した。越島は従来の抽出成分を主とする研究室のテーマを一新して、木材化学におけるセルロース・ヘミセルロースの木材多糖の重要性を強調し、前川、榎、東順一助手、田中文男助手とともに木材の多糖に関連した研究を部門の主要研究課題としていくことを打ち出した。そして木材多糖類に関する研究は、その構造と機能との観点からさらに発展させることになった。また未利用林産資源・廃材・パルプ排液の糖質成分の利用・開発をも合わせて進めていくこととした。

越島らは、まず初めに樹木中における木材多糖の構造と機能との関連を解明することを目的として、あて材セルロースおよびヘミセルロースについて研究を進め、その成果として強風下で生育したアカマツあて材セルロースの特性、ブナあて材ヘミセルロースの構造に関する報文を発表した。こうした研究に関連して、田中らはセルロース微結晶の3次元配向分布を測定し、木材セルロースの微結晶の配向機構に新しい見解を示した。また、多糖の結晶構造解析におけるモデル化と機能性多糖の分子設計に関してニューヨーク州立大学のサーコー(Sarko)らとともに報文を発表した。さらに、キトサン、ポリー(1→4)- $\alpha$ -ガラクトサミン、ポリー(1→4)- $\beta$ -ガラクトサミン、セルローストリプロピオネートなどの結晶構造解析を本学農学部、大阪府立大学との共同研究の形で行った。

次に、越島は、材中における多糖とリグニンとの結合体、いわゆるLCC(Lignin-Carbohydrate Complex、リグニン-多糖類複合体)の本質を追究する研究を榎、東らとともに進めた。得られた成果として、LCCの両親媒性物質

としての特性に関する研究、アカマツ Milled Wood Lignin(MWL)区分からの LCC の新しい分離法とその特性など LCC の新しい抽出法とその挙動に関する研究、バガスからのフェルラ酸を結合した新オリゴ糖など LCC の構造に関する研究が発表され、内外の注目を浴びた。東は、木材多糖と LCC に関する一連の研究のほか、シロアリのセルラーゼに関する研究、キャベツ由来のアラビノガラクトン・プロテインに関する研究、炭酸ガスレーザーによるセルロースの分解に関する研究、後に触れるマイクロ波前処理による木材酵素糖化に関する研究も行った。また、多糖の NMR(Nuclear Magnetic Resonance)の総説を 2 報『木材研究・資料』に報告した。また、榎は、LCC の化学的安定性に関する報文を発表した後、ゴールド(M. Gold、米国オレゴン州立大学)らとともに腐朽菌によるリグニンの成分分解に関する研究を行い、昭和57(1982)年4月に近畿大学農学部に出向した。また、東も昭和61(1986)年本学農学部に出向し、後任として渡辺隆司が助手として任官した。渡辺は、木材多糖と LCC に関する研究を継承し、酸化反応を利用した LCC の結合位置分析に関する研究を進めた。その結果、リグニンと多糖の化学結合を証明するとともに、人工的に合成した LCC と天然 LCC の結合位置の類似性を示した。また、アカマツの根に由来する多糖やマンネンタケ由来の  $\beta$ -1、3-グルカンに関しても構造研究を行った。一方、前川らは、セルロース原料を活用して、新しい機能を付与したセルロース誘導体を開発する研究を進め、ジアルデヒドセルロースを材料とするキレート性ポリマー、2，3-ジカルボキシセルロース金属塩の性質と熱的挙動の研究報告を発表した。このほか、前川は、ホルセルロース調製法として知られる亜硫酸塩法および過酢酸法による脱リグニン過程における多糖成分の研究など5編を発表し、脱リグニン過程における多糖成分の溶出挙動を明らかにした。また、セルロースアセテートやカルボキシメチルセルロースの NMR および細菌由来多糖の構造分析に関しても、それぞれスボボ(W. Subowo、インドネシア応用物理学研究・開発センター)およびリンダーバーグ(A. Lindberg、スウェーデン、ストックホルム大学)らと共同研究を行った。さらに、ガスクロマトグラフィー

による木材多糖成分の分析と定量に関しても報文を発表した。

越島はまた、東とともに木質系バイオマスをエネルギー源として利用することを目指して、酵素系を用いる木材糖化に関する研究も行った。すなわち、微粉碎木粉の酵素分解に関する研究を、大阪工業技術試験所との共同研究の形で発表し、さらに木質系バイオマスの酵素分解に関する5編の報文を発表した。酵素系の阻害因子となるリグニンを除去しなくても、木材の酵素系による糖化が可能であることを強調した。その後、新しい発想に基づくマイクロ波を用いる木材糖化法を考案し、そのパイロットプラントの設置に伴って実用化を目指した研究が行われた。マイクロ波による木材糖化に関する研究では、酵素糖化率とポアサイズの関係や、リグニンの縮合型構造と酵素糖化率の関係についても報文が発表された。

以上記した研究の他、越島はパルプ排液中のリグニン成分を有効利用することを目指した研究を、近畿大学農学部との共同研究の形で行った。その成果として、亜硫酸パルプ排液によるシイタケ菌糸の生長促進等の関連報文6編が発表され、亜硫酸パルプ排液中の糖スルホン化物が食用きのこ生育を著しく促進することを見出した。また、 $\beta$ -グルコシダーゼの木粉への固定化に関する研究を大阪工業技術試験所との共同研究の形で発表した。

越島は平成2(1990)年に停年退官し、近畿大学農学部の教授に就任した。後任として、平成2年10月に香川大学農学部より、桑原正章が教授として着任した。以降の業績に関しては、本節第2項2.「木質バイオマス研究大部門」の頁に記す。

### 3. 木材生物研究部門(1944～90年)

本部門は、木材研究に関する生物学的領域を担当するため、研究所創設当初から設置され、木材の樹種と識別、組織構造およびその形成過程、ならびに木材の病理、すなわち菌害・虫害などに関する研究を行ってきた。

研究部門発足後間もなく組織形態・樹木生理の分野には尾中文彦が教授として長野農林専門学校より迎えられ、木材生物第1研究室を設営し、一方木

材の病理に関する分野は木材生物第2研究室として農学部赤井重恭が併任担当することとなった。

尾中は昭和2(1927)年本学農学部卒業以来一貫して樹木の肥大成長に関する研究を遂行しており、本研究所報告『木材研究』創刊号(1949年)の「アテ材の研究」はその一半を集成したものである。本研究では、重力偏心性と背腹偏心性は区別すべきであること、アテ材の形成による偏心が最大となる位置は重力の調律性も関連することなどを明らかにした。さらに草本植物の屈地性がオーキシンの不等分布によることに着目し、針葉樹形成層付近のオーキシンの偏在を確認、またオーキシンの塗布によってアテ材形成を誘導し、針葉樹においてはオーキシンの偏在がアテ材形成の原因であると推定した。本論文はアテ材に関する総説を兼ねたものとしても世界に誇るに足る業績と言えるが、これを発表した翌年に尾中の急逝したことは痛恨に堪えない。

木材生物第2研究室では、木材を侵害する微生物の生理生態学的研究、製紙過程に生ずる有害微生物の研究、微生物によるボード類の汚染腐朽の研究などが行われた。なかでも針・広葉樹材の各種腐朽菌に対する抵抗性については永友勇(京都学芸大学教授)および農学部の寺下隆喜代(研修員)、上山昭則助手、日比野勝巳(嘱託)らが協力してPCP、フェニール酢酸水銀などの腐朽菌に対する効果、ボード類の強制腐朽試験、ホルムアルデヒド処理など寸法安定を期した処理材の耐久性など多くの成果をあげた。

尾中亡き後の木材生物第1研究室は当時農学部助教授の貴島恒夫によって兼任され、木材構成要素の占有割合、樹種識別ならびに組織学的研究方法の検討が進められ、農学部の原田浩が協力して、針葉樹仮道管のフィブリル傾角を通じて木材の微細構造研究の端緒が開かれた。また、山本登久男(元静岡県製紙工業試験場)が助手として在任中(昭和27~29年)から木材への液体浸透の組織学的究明が開始された。伊藤貢(岐阜大学学芸学部)もこれに関連して広葉樹道管チロースの樹種別存否を検討した。

その後、昭和30(1955)年に貴島が専任教授に昇任、翌31年、林昭三が島根

## 第19章 木質科学研究所

農科大学から助手に迎えられて以来、木材への液体浸透機構の解明に主力が注がれることとなった。

昭和38(1963)年、本研究所体制の統合改組に当たって、木材生物第1・第2研究室は廃止され、本部門には主任貴島、併任赤井のほか旧木材化学第2研究室所属の西本孝一が迎えられた結果、担当分野も木材防腐防虫処理および薬剤の研究にまで拡張されることとなり、助手にも高橋旨象が採用されて完全講座の形に復した。

木材への液体浸透の研究は、貴島、林のほかに木材保存分野の西本も協力し、さらに昭和39～41年にかけては本学農学部、京都府立大学、鳥取大学、農林省林業試験場(現：森林総合研究所)、国鉄技術研究所、東京農工大学の関係研究者と総合研究が行われた。木材は多孔質であるのに液体の浸透は容易ではない。この研究で、針葉樹ではトールスによる壁孔の開閉が浸透に大きく影響すること、また広葉樹材では浸透を規制する因子としては道管内のチロースであることなどが明らかにされ、また、樹種別に見た浸透の難易、辺・心材別、方向別あるいは木材の含水率別の浸透の差異などが調べられた。さらに関連して合板や集成材の接着層その他についても観察された。

このほか木材組織学の分野では、昭和38(1963)年に新たに電子顕微鏡が新設されたことにより、以後貴島を中心に大学院生が主体となって木材の微細構造の研究、ことにチロースの超微細形態(貴島、林、加藤弘之<大学院生>)、形成層活動(貴島、伊東隆夫<大学院生>)、道管穿孔板の形成(貴島、伊東、矢田茂樹<大学院生>)など、光学顕微鏡と併用して電子顕微鏡レベルの研究が進められ、昭和45(1970)年頃からは木材の形成に関する研究が伊東隆夫助手を中心に開始された。

一方、木材保存の分野では木材化学第2研究室で行われていた主題がそのまま受け継がれた。

木材の防腐に関しては西本と布施五郎助手が中心となり、有機錫化合物の殺菌性について、約100種類の化合物を合成し、その殺菌性と化学構造の関係を調べ、さらにその数種については防腐効力試験、耐候性試験を行う一



方、本学芦生演習林においても野外実地試験を行った。

木材防蟻に関してはシロアリ飼育室が昭和37(1962)年度文部省特殊科学研究費により設置されたことに伴い、シロアリの生理生態はもちろんのこと、各樹種、各木質材料の耐蟻性及各種薬剤の殺蟻効力の研究が推進され、またシロアリの忌避材として、オオアリの分泌物類似化合物を合成してその効果の大きいことを確認するなどの成果をあげた。さらにシロアリのフェロモンに関しての研究を昭和45(1970)年頃より着手し、西本は米国ウィスコンシン大学に文部省派遣研究員として7カ月、さらに西ドイツ国立材料試験場に5カ月留学し、特に道しるべフェロモンの研究に従事した。帰国後、昭和48～50年に西本は松尾治夫(大学院生)と腐朽材のシロアリ誘引作用の機構の解明を行った。さらにこの研究は、木材は抽出成分と耐蟻性(西本、池田俊弥)にも発展し、注目すべき成果をあげた。また、文化庁の「国宝・重要文化財建築物緊急蟻害調査」事業に対する協力を依頼され、昭和46・47年の2カ年にわたり、滋賀県下の国宝22、重要文化財148の建造物の劣化状況を克明に調査し報告した(西本、林、高橋、足立昭男<技官>)。昭和50(1975)年頃からはシロアリの総合的防除対策の確立を目的とする研究が開始され、粒剤タイプの土壌処理防蟻剤の効力を検討し、十分実用性のあることを立証した。

木材の海虫食害防除に関しては鳴門市小鳴門沿岸に試験地を設け、昭和38(1963)年より各種薬剤の効力試験を行い、有機錫化合物の効力が抜群であることが確かめられた。昭和45(1970)年以降、西本、角田邦夫(大学院生)により、日本沿岸の海虫の分布・種類調査がなされ、昭和49年に木材の海虫食害防除の画期的方法を開発し、福井県内浦湾において実用試験を行った。

木材の腐朽機構に関しては、西本、高橋が中心となり、数種の菌を用いて木材組成・強度の変化、微細構造の崩壊過程などを電子顕微鏡・赤外分光光度計・X線回折装置を活用して解明した。なかでも軟腐朽菌による分解については、針葉樹と広葉樹の腐朽力の差異が菌のリグニンに対する作用の違いによることなど、新しい知見が得られた。

また、熱帯材に関する調査が本学東南アジア研究センターで開始され、昭

和46(1971)年、貴島、林、高橋、足立がマレーシア、インドネシア、シンガポールに派遣され、ケボン林業試験場所蔵の239樹種の木材切片プレパラートから樹種識別のための顕微鏡写真を撮り、林、貴島および同試験場スタッフ3名の連名による東南アジア産材の顕微鏡写真集が出版された(昭和48年)。また、65樹種の材を持ち帰り、その耐朽性を調べた(高橋、貴島)。さらに、現地のシロアリ十数種を採取してきた(高橋、足立)。

昭和50(1975)年、教授として島地謙が東京大学農学部より迎えられ、木材の組織構造を基盤とした木材形成の分野に力点が置かれることとなった。以後、当部門の研究は島地、伊東による木材形成分野と西本、林、高橋による木材保存分野とが並行的に進められた。

その後、昭和54(1979)年に木材防腐防虫実験施設の新設を機に木材保存分野の活動はそのまま同実験施設に引き継がれ、当部門の研究陣は島地、伊東、林、黒田宏之の4名で構成されることとなった。以来、当部門は木材の質的あるいは量的生産に対して作用する因子およびその影響を、木材組織学を基盤に置いて解明することを目的として掲げ、林業における林木保育技術の材質に及ぼす影響、木材の細胞・組織の分化・形成に関する生理解剖学的研究、細胞壁の形成・セルロースマイクロフィブリルの生合成に関する研究が進められた。

林木保育技術の材質に及ぼす影響に関する研究では、材質の不安定性をもたらす大きな原因である未成熟材の形成と植栽密度の関係について調査され、育成初期の植栽密度を一定以上に高く保つことで未成熟材形成期間を短縮させ材質安定化の時期を早められることが明らかにされた(島地、伊東、黒田、角谷和男、赤井龍男<農学部助教授>)。さらに、枝打ちの影響についても国有林(九度山営林署)の協力を得て種々の強度の枝打ち施業が昭和52(1977)年から行われた。

木材組織には季節的な変化が早・晩材として現れる。これも木材の材質に大きく影響する。早・晩材形成機構を調べるために木材物理部門所属の人工気象室(ファイトロン)内で苗木を用いて日長・温度および植物成長ホルモ

ンを種々組み合わせた実験が行われ(昭和51~56年)、木部の細胞数と細胞径はオーキシンの量に支配され、細胞壁厚は光合成産物の量に支配されることが裏付けられた。さらに島地、伊東は人工気象室内の一定環境下で育成させると、開芽・伸長・休眠・形成層活動の年間リズムはしばらく持続した後消失していくことを明らかにした。

かねて島地の開発した刺針による木部肥大成長印付け法に関して、昭和54~60年にかけて黒田慶子(大学院生)、島地、林、伊東によりさらに精密な検討が進められ、高い精度が得られるようになったほか、刺針による傷害組織の形成や異常分化の詳細を追跡し、形成層帯や木部分化帯の細胞はその分化段階によって傷害に対する応答の異なることが明らかにされた。

あて材形成機構に関する研究も、尾中以来途絶えていたが、昭和53(1978)年から山口和穂(大学院生)、島地、伊東はこれを復活させ、昭和55(1980)年には吉沢伸夫(宇都宮大学助手)もこれに加わった。山口を中心に、オーキシン輸送阻害剤の塗布によって、針葉樹では内生オーキシンの濃度が高くなることがあて材形成を誘導する必要十分な条件であることが明らかにされた。吉沢を中心として、9科38種にわたる針葉樹についてあて材仮道管の形態的差異を調べ、その系統発生的意義について論じた。

カルス化した培養細胞を用いて、試験管内での形態形成に関する研究が昭和55年からスタートした。黒田(宏)、牧野良平(大学院生)、島地によって、培地中のオーキシン濃度が低くカイネチン濃度が高い時にカルス内に木部・師部の分化したノデュールが多数誘導されること、カルスの継代培養を続けると不定芽形成する株としない株に分かれること、また形態形成には物理的な外力も関与する可能性のあることが明らかとなった。

そのほかに木部組織の分化・形態形成に関して、心材着色現象の細胞化学的解明(黒田<宏>)、1次木部から2次木部への移行過程の追跡(三木直久、伊東)、竹材の木化過程ならびに細胞壁の堆積に関する形態学的変化の追跡(伊東)なども昭和55~60年の頃行われた。

昭和61(1986)年、角谷が教授となり、食糧科学研究所研修員の小川雅広の

協力を得て生化学的・免疫化学的手法を用いた培養細胞の不定芽形成機構や樹幹生理に関する研究がこれまでの主題に加わった。

培養細胞の不定芽形成に関しては、浅田隆之(大学院生)、福西伸一(研修員)、馬場啓一(大学院生)、小川(雅)、角谷らによって、ポプラカルスでオーキシシン濃度を变化させた場合に不定芽形成をする株としない株を選抜培養し、これらのタンパク質分析を行うことにより、不定芽形成に関わるタンパク質をオーキシシンの濃度変化だけに反応するタンパク質から明確に区別できることを示した。

樹幹生理に関しては、馬場、黒田、小川(雅)、角谷らによって、エンジュ樹皮中に存在する糖結合性タンパク質であるレクチンが貯蔵機能を持っていることが明らかにされ、コルク形成層の活動時に消費されることが示唆された。また、木部・師部・形成層帯にはそれぞれ組織特異的なタンパク質が存在していることも明らかにされた。この時期、樹幹からの cDNA ライブラリの構築、レクチン遺伝子の単離なども試みられている(黒田<宏>)。

あて材形成に関しては、山口、伊東によって、広葉樹におけるオーキシシンとあて材形成の関係について調べられ、オーキシシンの塗布やオーキシシン輸送阻害剤に対する応答は、広葉樹と針葉樹とで大きく異なり、広葉樹ではオーキシシン濃度のみに依存しないこと、広葉樹では開芽期と形成層が活発に材形成活動を行っている時期とで応答が異なることなどが明らかにされた。

細胞壁形成に関しては、昭和50(1975)年頃より伊東を中心にセルロースミクロフィブリルの堆積方向、ラメラの各壁層間の堆積方向決定の機構などが細胞小器官との関連において、電子顕微鏡的に追究された。フリーズフラクチャー法をわが国で初めて細胞壁の観察に取り入れた。また、ほぼ純粋なセルロースからなるワタの繊維の発達過程を電子顕微鏡により世界に先駆けて明らかにした。さらに伊東は昭和55(1980)年より文部省在外研究員として米国ノースカロライナ大学に10カ月、テキサス大学に14カ月留学し、続いて昭和60、61年に再びテキサス大学に短期留学(各3～4カ月)して、バロニア等の海藻を用いて原形質膜上のセルロース合成酵素複合体を電子顕微鏡でとら

えるのに成功するとともに同酵素複合体の発達過程が明らかにされ、さらにタンパク質合成阻害剤やセルロース合成阻害剤を用いて、上記合成酵素複合体の性質が細部にわたって明らかにされた。その後、昭和61(1986)年より蛍光抗体法を取り入れ細胞全体あるいは大面積での微小管配向の観察が可能となり、セルロースマイクロフィブリルの堆積方向と微小管の関係について、各種光学顕微鏡、電子顕微鏡を用いて精力的に研究が行われた。早野三郎(大学院生)、伊東によりマガタマモがプロトプラストから成長していく過程での細胞形態・壁形成と微小管の配向の関係が調べられ、微小管の配向はマイクロフィブリルの配向よりむしろ細胞形態の決定に関与していることを示唆したことをはじめとして、胚珠培養されたワタの繊維では微小管配向とマイクロフィブリル配向が一致し、一次壁形成期から二次壁形成期へと移行する頃に微小管を消失させるとマイクロフィブリル配向が乱れること(奥恭行<大学院生>、伊東)、また、ポプラの液体培養細胞では種々の形態を示す細胞形状と微小管の配向との関係が明らかにされた(藤田晃<大学院生>、伊東)。細胞壁形成に関する研究は、研究所改組後も伊東を中心に継続されている。

### 〔材鑑調査室〕

材鑑(木材標本)の収集、それらの標本からのプレパラートの作製など、木材研究の基礎となる樹種識別に関する資料の蓄積は研究所創設以来木材生物第1研究室、木材生物部門を通じて継続して行われてきた。昭和53(1978)年に国際木材標本室総覧に機関略号 KYOw として正式登録されたことを契機に、昭和55年度概算要求により、木材生物部門所属の材鑑調査室(事業費と助教授1名)が認められて林が専任することとなり、さらに昭和57(1982)年には実験室・標本室などを含む建屋220㎡が新設された。昭和53年までに整理保管された材鑑数はわずか1,400点であったが、昭和59年には6,000点に達し、検鏡用プレパラート5,600枚が保管されている。また、林・島地・伊東により遺跡出土木質遺物の樹種同定が各府県の遺跡発掘調査会の協力のもとに行われた。昭和63(1988)年には、それまでの結果をまとめた『日本の遺跡出土木製品総覧』(島地、伊東)が出版された。

#### 4. 木質材料研究部門(1963～90年)

当部門は昭和38(1963)年に、木材物理第2研究室から満久崇麿教授、佐々木光助教授、木材物理第1研究室から後藤輝男助教授、石原茂久助手を迎えて発足した。本部門では、従来木材物理第1、第2両研究室において、木材の基礎的な学理の研究と並行して行ってきた応用研究、木質材料の製造技術と材質に関する研究が受け継がれ、より優れた木質材料の開発に努力するとともに、これらを家具や建築部材として用いた場合の性能、例えば、耐久性、耐火性、居住性、構造耐力などについて、基礎的な法則性の検討から実大試験に至るまでの広範囲な研究が推進され、平成3(1991)年改組によって複合材料および構造機能の新しい2分野へと拡大発展した。

まず、材料開発の分野では、世界に先駆けて行われたパーティクルボードの一連の研究(満久、浜田良三、佐々木)を発展させ、可塑化処理木粉の加圧成型(浜田、満久、佐々木)、パルプ排液リグニンへの接着性能付与やレドックス系のMMA(Methyl Metaacrylate)の共重合(南正院<大学院生>、満久)が検討され、ファイバーボードやパーティクルボード製造における接着剤や改質剤の新しい展開の可能性が追究された。パーティクルボードの力学的性能や寸法安定性の向上に関する画期的研究の数々が本部門において完成され、国の内外から注目を集めた。すなわち、川井秀一助手、張勤麗(中国、外国人共同研究者)、ナロン(P. Narong、タイ国王立林業局林産研究部門技官)、佐々木、石原、プルドー(O. Plido、フィリピン、大学院生)、吉田弥寿郎(研修員)らは高圧静電場を応用した配向性パーティクル(またはファイバー)ボード製造に関する諸因子の影響、配向原理等を明らかにした。これを基礎として合理的な配向装置を備えたテストプラントスケールのフォーミングマシンを設計試作し、その有用性を実証した。これで得たボードの配向方向の強度や剛性は従来のボードに比べ2～3倍に、面内の膨張率は数分の1に改善された。川井、佐々木は群栄化学株式会社、東洋ベニヤ工業株式会社と共同しイソシアネート系接着剤を用いた軽量パーティクルボードの新しい製造技術を

確立し、石原、高橋徹(島根大学農学部教授)その他の協力を得てこれの実大  
火災性能、音響性能等を明らかにするとともに施工性の検討を行い、実用化  
への道を開いた。畑俊充(大学院生)、スビヤント(B. Subiyanto、インドネシ  
ア、大学院生)、川井、佐々木は蒸気噴射による厚物軽量ボード製造に関する  
諸条件を検討し、上下盤面噴射連続プレス、側面噴射連続プレスを開発して  
蒸気噴射法による超厚物パーティクルボードの製造技術の開発・実用化に成  
功した。

技術開発の分野ではさらに間伐材のような製材不適材を LVL(単板積層材)  
に変換するための新技術がいくつか開発された。佐々木はサン・エス・ケ  
ー・エンジニアリング株式会社、株式会社田之内製作所と共同で、バックア  
ップロール駆動による小径木専用の特殊レースを世界に先駆けて開発した。  
また、北川精機株式会社、富士電波工機株式会社と協力して、広幅の LVL  
をエンドレスに熱圧成板するための上下極板型高周波連続プレス開発に成功  
した。これらの成果は低質材からの高性能構造用 LVL 円筒柱材(MOLAM-  
POLE)の開発と実用化(王潜<中国、大学院生>、佐々木、川井、越井木材株式会  
社)の道を開いた。また、楊萍(中国、大学院生)、秦正徳(研修員)、佐々木は  
木質材料製造過程における材料内部の応力と変形の解析を有限要素法による  
2次元弾性問題の構造解析の汎用プログラムを応用し、実例に応じて特殊モ  
デルを定義し、繰り返し増分法を用いて圧縮条件を変えた場合の接着面にお  
ける垂直応力分布、曲面成型パーティクルボードの圧縮過程における材料の  
変形、応力の算出法を提案し、その有用性を実証した。

複合材料の開発研究は、複合素材を金属系、石膏系、セメント系、合成高  
分子系、木質系等広い範囲に及び、強度性能、物理的性質、熱伝導率、耐火  
性能などと複合構成との関係が検討された(満久、佐々木、石原)。木材―塩  
化ビニリデンの複合体は $\gamma$ 線照射の下で製造し、その物性と難燃性が検討さ  
れた(石原、金田弘助手、南、満久、日本原子力研究所)。また、予熱混練式射  
出成型機を用い、各種の廃プラスチックと木粉の複合材料を種々の比率で成  
型し、混合割合と物性の関係が明らかにされた(石原、佐々木、城東化学工業

株式会社)。木質・セメント複合材料の性能向上や木繊維と無機繊維の合理的配合に関する研究(佐々木、川井)は高機能性木片セメント板の製造開発(佐々木、川井、エウセビオ<D. Eusebio、フィリピン、大学院生>)の基礎となった。石原、川井は炭素材料の高機能性をパーティクルボードに付加するために木炭やグラファイトの積層複合を試み、高度の耐火性能を持ち、金属と同等あるいはそれ以上の電磁波遮蔽性を持つボードの製造に成功し、リグナイト株式会社、トーベック株式会社、大建工業株式会社の協力を得て電磁波遮蔽性耐火壁や甲種木製耐火扉として実用化された。

材質の改良に関する分野では主として木質材料の防・耐火性能向上に関して数多くの試みがなされてきた。石原はハロゲン、Sb、P、N、B、アルカリ金属、アルカリ土類金属などが示す燃焼抑制作用について個々の効果、相乗効果、拮抗関係などを検討し、防・耐火に効果的な元素組成則や薬剤の配合則を確立した。これらの成果をもとに難燃性を兼ね備えた接着剤の開発に成功し、耐火パーティクルボードとして実用化された(石原、日本ノボパン株式会社)。この研究をさらに発展させ防腐・防虫性能を持つ高耐久性防火薬剤(石原、住友林業株式会社)、耐候性や寸法安定性を併せ持つ防火薬剤や処理技術などの開発に成功した(石原、アイカ工業株式会社)。石原は大日本インキ化学工業株式会社と共同で屋外用高性能防火塗料を開発し、これによる塗装材料が米国の各種試験に合格するとともに、建設省告示の定める難燃材料としてわが国で初めて認定された。石原と日本化学産業株式会社は木質・金属、木質・亜金属の新しい複合技術を創成し、高機能性耐火木質材料開発の基礎を構築した。また、間伐材を組み合わせた特殊ユニット壁の耐火性能を明らかにし、厚手の木材や木質壁が本質的に耐火性能に優れていることを実証した(石原、東丸眞一<東洋工務株式会社>)。

構造部材としての木質材料の性能に関する諸研究のうち、その基礎的研究として佐々木、満久は応力塗膜や光弾性装置を用いて実験的に応力分布を測定する方法の検討を行い、木材や木質材料の応力解析に有効な方法を見出した。さらに、種々の外力条件や境界条件のもとでの木質平面材料のたわみ挙



動の解析は従来難解とされたが、増田稔助手は差分方程式の形で表現し、大型計算機を用いて数値的に解いた。増田はこの方法を発展させ弾性定数の分布と初期たわみを考慮した合板シェルのたわみや座屈の解析に成功した。瀧野真二郎助手は水平せん断力を受ける木質壁パネルと面内応力分布について、有限要素法を用いた数値解析を行いパネル脚部における応力集中の大きいことを明らかにした。瀧野、佐々木はコンクリート集合住宅における内装用木質パネルの力学特性を多くの事例のもとに検討し、材料と構造が力学的特性に及ぼす影響を明らかにした。

近年、木構造の接合部に接着剤が多用され、部材には集成材のように接着剤を含むものが用いられ、木構造の設計には接着層の耐力が重要となってきた。接着層耐力の科学的解析のため、その破壊に関する研究が佐々木、李栄富(台湾、大学院生)、高谷政広(大学院生)によって行われ、まず、へき開モード下の接着層破壊じん性について、次いで小松幸平(大学院生)はすべりモード下のそれについてそれぞれ試験方法を提案した。また、接着層の粘弾性と破壊じん性の関係を解明したほか、ラップジョイントについて、破壊力学手法を用いた強度予測の方法を確立した。

接合部の変形も木構造全体の変形にとって非常に重要である。秦、小松、佐々木は2次元問題について、有限要素法を用いた半剛接骨組構造の変形を解析する方法を提案し、ダボ接合を持つ木製棚についてその適用性を実証した。さらに半剛接骨組に合板が釘打ちされているパネル部材の面内せん断挙動を釘接点の非線型挙動を特別な十字バネ要素を用いて表現することにより、合理的に計算できることを示した(秦、佐々木)。

木構造の設計には部材や接合の耐久性や耐候性も極めて重要な因子であるが、林知行(大学院生)は工業化木製トラス接合に多用されているメタルプレートコネクターを用いた接合の疲労特性について水分履歴の影響(林、増田稔<農学部助教授>、佐々木)、継手の引張圧縮繰り返し疲労の時間依存性や疲労損傷の発現機構(林、佐々木)、同付突け間隙の影響(林、佐々木)などについて重要な知見を得た。耐候性の研究では金田が材料にラワン合板を用い屋

外暴露やウェザーメーターによって促進劣化を行って合板の表面における亀裂の発生や接着層への影響を調べ、暴露時間と接着力の関係などを明らかにしている。一方、合板やハードボードを面材とする種々の仕上げ状態の木質パネルについて屋外暴露中の剛性やせん断力の変化の測定が最終測定31年を目標に進められている(佐々木、瀧野、内田良禾<大学院生>、金田、増田)。また、同様の材料について防火処理効果の低減が調べられ、無機系難燃剤処理の効果は1年の暴露で消失したが、難燃P・N樹脂処理では15年の暴露後もなお、遮炎性、耐火性を残存させていることが確認された(石原)。さらに床暖房に関連して、各種の接着剤を用いて製造された合板の熱劣化特性が調べられ、速度論を用いて考察された(佐々木、金田、満久)。木質材料を住宅の内装や家具に用いた場合の居住性の重要性に鑑み、増田は木質材料の熱放射率が他材料に比較して高いことを明らかにし(増田、山浦安春<大学院生>、満久)、壁面に使われた場合の木目の与える居住感について多くの被験者を使い得た回答から、因子分析によって木質材料の優秀性を示した(安田明<大学院生>、増田、満久)。一方、木質材料を暖房床材として用いる場合を想定してホルムアルデヒドの発生濃度と接着剤の関係が明らかにされている(石原、佐々木)。

### 5. リグニン化学研究部門(1967~90年)

木材工業の発展に伴う林産学研究・教育の強化のため、昭和42(1967)年6月1日、リグニン化学部門の開設が認可された。

当部門は、「木材の主要成分であるリグニンの化学的特性の解明とその有効利用に資する基礎的研究」を目的として発足した。

昭和43(1968)年4月1日、樋口隆昌が初代教授として着任し、次いで佐藤惺が助教授に、山崎徹、北村晃子が助手として着任した。その後山崎徹は香川大学農学部、北村晃子は京都薬科大学へ転出し、後任として、それぞれ島田幹夫、中坪文明が助手として着任した。また、昭和50(1975)年7月棚橋光彦が助手に着任した。昭和56(1981)年10月中坪が本学農学部林産工学科に転

出し、その後任として梅澤俊明が助手として着任し、続いて、島田助手が講師に昇任した。さらに、平成3(1991)年、樋口の退官に伴って島田が教授に就任した。

本研究部門開設当時、フロイデンベルグ(K. Freudenberg)教授らによるコニフェリルアルコールのDHP(脱水素重合物)の研究に基づいて、針葉樹リグニンの化学構造の概要が明らかにされていたが、まだ未解明の部分も多く、広葉樹およびその他のリグニンについてはほとんど不明であった。したがって、当研究部門では「リグニンの化学構造、反応性、生合成及び微生物分解など、リグニンについての基礎的知識の体系化と、それに基づいたリグニンの完全利用に資する理論の確立」を目標として研究を進めてきた。以下、歴史的に当部門で行った研究の推移を説明する。

#### a リグニンの生合成と進化に関する研究

リグニン生合成に関与する一連の酵素の分離と特質解明が行われ、これまでに一般的なりグニン生合成の経路、針・広葉樹、イネ科植物による生合成経路の差異等が解明された。特に、①針・広葉樹の芽生え、若枝、タケノコなどからS-アデノシルメチオニン：カフェー酸O-メチル基転移酵素(OMT)の抽出・精製に成功し、針葉樹のOMTはグアヤシル核の生成を優先的に触媒するのに対し、広葉樹のOMTはグアヤシル核とシリングル核の形成をともに触媒する。②p-ヒドロキシシナメート：CoAリガーゼ、シナミルアルコールデヒドロゲナーゼも針・広葉樹間に明らかな基質特異性の差があり、前者の酵素は主としてフェルラ酸からコニフェリルアルコール(グアヤシル核)の生成に関与し、後者の酵素はフェルラ酸とともにシナップ酸を基質として、コニフェリルアルコールおよびシナピルアルコール(シリングル核)の生成を触媒することを証明し、これらリグニン生合成に関与する一連の酵素の基質特異性の差によって針・広葉樹リグニンの生成の相違が合理的に説明されることになった。この研究には樋口、島田が中心となり、大学院生として、伏木秀文、中村吉紀、黒田宏、久津木英俊らが主として参加した。

また、コニフェリルアルコールの脱水素重合における反応条件が重合体(人工リグニン)の化学的性質および分子量に及ぼす影響、LCC(リグニン-多糖類複合体)の生成機構、イネ科植物(タケ)に多量に見出される *p*-ヒドロキシフェニルリグニンおよび *p*-クマール酸エステルの生成機構、シナピルアルコールの脱水素重合によるシリングリグニンの生成機構などそれまで未解明であった諸問題が解明され、多くの重要な知見が得られてきた。これらの研究には、樋口、島田、中坪、棚橋、大学院生として小寺学、田中憲次、研修員として荻野圭作らが参加した。

#### b リグニンの化学構造および反応性に関する研究

当研究部門では広葉樹、稲科植物、シダ植物、その他樹皮のリグニンの化学的特質について系統的研究を行ってきたが、特にこれまで未解明であったタケリグニンの化学構造、*p*-クマール酸エステルの結合様式などについてその特質を明らかにした(樋口、島田、中村)。また、リグニンを構成する基本的ダイマーおよびオリゴマーの一般的合成法を初めて確立し、有機化学的にリグニンを合成する方法を明らかにした。

現在、これらのオリゴマーを用いてリグニンの反応性についての研究が行われている。この研究には樋口、中坪、棚橋、山崎のほか、大学院生として藤本英人、塩徹、片山健至、釜谷保志、難波宏彰、卒論実験生として近畿大学農学部佐藤公彦、池田良久、武内英夫、北川敦士らが参加した。

#### c リグニンの微生物分解とその応用

微生物によるリグニン分解機構の解明は、自然界における無機・有機炭素資源循環のプロセスやバランスの解明、生物脱リグニン(バイオパルピング)等木質材料のバイオマス変換機構を解明するために極めて重要な問題である。当部門では昭和50(1975)年以来、リグニンサブストラクチャーを含むオリゴリグノールの木材腐朽菌による分解機構について研究を行い、新しい芳香核開裂反応の機構を解明した。また、これらの分解反応に関与する酵素およびそのモデル(ポリフィリン-鉄錯体)による  $\beta$ -0-4、 $\beta$ -1 2量体等の開裂機構、バイオミメティックなリグニン分解反応とその応用分野も研究され

た。当初この研究には樋口、島田、中坪、大学院生として大田雅彦、野口明雄、片山、釜谷、難波、梅澤、波部豪、河合真吾、横田信三、服部武文、中川(現姓高野)麻理子、才高聖士、谷原佳文が参加した。

#### d 爆砕法による木質バイオマスの有効利用

多量に存在する未利用木材資源の有効利用を目的として昭和57(1982)年以来、宝酒造株式会社との共同で高温高压(200~230℃、20~30kg/m<sup>2</sup>)の水蒸気による木材の爆砕処理について研究してきた。この研究には主として棚橋、樋口、また、近畿大学卒論実験生として高田信輔、玉淵敬子、小林久也が参加し、島田、梅澤が協力した。

#### e 木材抽出成分によるケミカルタキシノミー

主として佐藤惺らにより有用樹木の抽出成分の構造決定および抽出成分によるケミカルタキシノミーとその応用研究(熱帯材加工に際しての障害対策、染料樹ログウッド)が行われてきた。この研究には佐藤、北村、藤本、久津木、近畿大学卒論実験生として芝博文、武久英夫、石井(現姓川上)秀美らが参加した。

上記のように、リグニン化学部門が開設され、平成3(1991)年に改組されるまで約23年が経過したが、その間の研究論文は主要な国際学会誌、国内学会誌、“Wood Research”、『木材研究・資料』等に発表されてきた。それらの成果はそれぞれの分野における問題の解明に大いに貢献している。特に、リグニンの微生物分解機構の研究について米国 NSF(National Science Foundation)と日本学術振興会の援助を受け、昭和53(1978)年(米国、マジソン)と昭和58(1983)年(日本、京都)に国際セミナーを開催した。また昭和54(1979)年9月1日から昭和55(1980)年5月の9カ月間、カーク(K. Kirk)博士(米国林産物研究所)を京都大学招聘教授として招き、リグニン微生物分解についての共同研究を行った。さらに、昭和56~57年には再び日本学術振興会と米国 NSFの援助のもとに、米国ノースカロライナ大学チャン(H-m. Chang)教授とチェン(C-L. Cheng)博士、カーク博士らとの共同研究を実施し、この分野の研究は飛躍的に発展した。なお、平成元(1989)年、樋口隆昌教授には「リ

グニンの生合成と生分解」の研究業績に対して、アメリカ化学会から、アンセルム・ペイエン部門賞が贈られた。また翌平成2年、日本政府より一連の業績に対して紫綬褒章が贈られた。

## 6. 高耐久性木材開発部門(木材防腐防虫実験施設)(1979～90年)

世界的な森林資源の枯渇に伴い、木材の長期的有効利用の重要性が社会的にも認識されるようになり、それまで木材生物部門に属して行われてきた木材保存の研究グループが独立して、昭和54(1979)年4月木材防腐防虫実験施設(7年の時限つき)が設置された。本実験施設の目的は、木材および木質材料の菌類、シロアリなどによる生物劣化機構の解明と、それを基にした劣化防止のための処理薬剤・技術などに関する総合的研究を集中的に行うことであり、その拠点として新研究棟が昭和55(1980)年4月に完成した。その後、研究成果およびスタッフを引き継ぐ形で、昭和59(1984)年4月に高耐久性木材開発研究部門が新設され、本実験施設は昭和61(1986)年3月に廃止された。

菌類による木材の分解機構に関しては、西本孝一教授、高橋旨象助教授らが中心となって、腐朽菌のタイプと木材の腐朽型の関係について多くの新しい知見を得、さらに腐朽材の破壊形態(木村忠雄<大学院生>)や、腐朽促進のための水蒸気加熱前処理(綾木光弘<大学院生>)、花岡(現姓溝上)千草<大学院生>)などが検討された。

木質材料の腐朽の進行に伴う疲労特性に関する研究も、西本、高橋、今村祐嗣(助手)らによって開始され、防腐薬剤を接着剤に混入して製造した合板、ボード類の優れた耐朽性が実証された。今村、西本はまた種々の化学処理を行ったボードや産地別ヒノキなどの耐朽性評価を足立昭男技官の協力を得て遂行し、多くの成果をあげている。

木材の生物劣化因子として、菌類と並んで非常に重要であるシロアリについては、その木材消化機構(金井和光<大学院生>)、道するべフェロモン(松尾治夫<大学院生>)、所雅彦<大学院生>)、大村和香子<大学院生>)、幼若ホルモン類

似物質の影響(土岐宏俊<大学院生>)、遅効性薬剤の作用機構(吉村剛<大学院生>)、電磁波・音波のシロアリに与える影響(栗崎宏<大学院生>)などについて検討が行われた。なお、これらの実験の遂行に、昭和37(1962)年度文部省特殊科学研究費によって設営されたシロアリ人工飼育室が大きな役割を果たしたことは言うまでもない。また、昭和55(1980)年以来、鹿児島県吹上浜国有林内に野外シロアリ試験地を設け、基礎的研究および応用的研究に活用している。

一方、ナラ、ラワンなどの害虫として知られているヒラタキクイムシに関しても、岩田隆太郎(大学院生)らによってマス・カルチャー法が確立され、個体生態学的研究および種々の木材・木質材料の防虫試験が精力的に行われ、防虫処理木材の日本農林規格化や性能基準の決定に貢献してきた。

また、角田邦夫助手らは、海中貯木食害虫であるフナクイムシについて、日本で初めて詳細な調査、研究を行い、多くの新しい知見を得た。昭和58(1983)年からは、徳島県鳴門市に木材食害海虫実験室を設け、飼育技術の確立と食害防除薬剤の開発を継続的に行っている。

低毒性木材保存薬剤の開発は、木材劣化生物の基礎的研究とともに木材保存学の車の両輪をなすものである。アルキルアンモニウム化合物(角田)、トリハロアシル化合物(ダコスタ<A. Da Costa、ブラジル、大学院生>)、有機ヨウ素系化合物(李東洽<韓国、大学院生>)などの防腐薬剤への適用性、および新規低毒性防カビ剤の開発(角田)などが鋭意進められた。また、西本が新設された高耐久木材開発研究部門に移った後、2年間実験施設の教授を務めた角谷和男は、浅田隆之(大学院生)とともに、抗蟻性の非常に高い木として知られるアオモリヒバの抽出成分について検討を行った。

これら低毒性木材保存剤に関する研究とともに、木材の化学処理による生物劣化抵抗性の向上の研究が、最近社会的な背景を基にその比重を増している。研究課題としては、無機質複合化(西本、高橋、角田、大島賢治<大学院生>)、トリメチルシリル化(板倉修司<大学院生>)、ホルマール化(ユスフ<S. Yusuf、インドネシア、大学院生>)、フェノール樹脂処理(柳在潤<韓国、大学院

生)などが挙げられる。また、溝口光幸(大学院生)は木材の熱処理によって得た炭素材料の特性について研究を行った。

## 第2項 改組から現在まで

### 1. 木質生命科学研究大部門

#### a 遺伝子発現分野

平成3(1991)年、改組に伴い新たに発足した当分野には、当初林隆久助教授と黒田宏之助手が、木材生物部門より配置転換された。同年10月からは、森川弘道(広島大学理学部教授)が併任教授となり(平成5年3月まで)、木質形成の機構を遺伝子レベルで究明し、新たな木質資源の創製をもたらすための基礎的研究をスタートさせた。平成5(1993)年7月からは農水省、農業生物資源研究所、分子育種部の酒井富久美が森川に代わって教授として着任した。樹木はわが国の木質資源のみならず、世界的な地球環境保全のためにもその重要性を増してきており、当分野はバイオテクノロジーによる樹木の遺伝的改良を目指し、樹木に特異的な遺伝子群や樹木の生長に関与する遺伝子の単離と構造解析、それらの遺伝子の発現制御機構および木本植物を対象とした形質転換系の確立等の研究を進めている。

林は、樹木細胞の成長に関する最も基本的なテーマすなわち植物ホルモン・オーキシンによる細胞壁のゆるみに取り組むことにした。オーキシン処理によって、植物成長部位でエンド-1,4- $\beta$ -グルカナーゼが誘導されることは証明されているが、その遺伝子はまだクローニングされていなかった。オーキシンにより誘導される細胞壁のゆるみは、植物細胞の伸長・肥大すなわち形態に直接関与している。

樹木実験材料として、ポプラの液体懸濁細胞を用い、高濃度オーキシンにより培養したポプラが産生するエンド-1,4- $\beta$ -グルカナーゼにターゲットを絞った。ポプラ培養細胞由来のエンド-1,4- $\beta$ -グルカナーゼ活性は、3つに分画された。Extracellular(エキストラセルラー)由来の酵素は、オーキシン



存在下、細胞対数増殖に活性が誘導され、定常期になると消失した。オーキシンを与えないことには、酵素活性および細胞の生育もアレストされた状態になることが示された。この結果から、ポプラ培養細胞は、細胞の成長にオーキシンを必要とし、またオーキシンによってエンド-1,4- $\beta$ -グルカナーゼが誘導されることが示唆された。培養液中の酵素は、電気泳動的に均一な標品にまで精製した。精製された酵素タンパクのN末端アミノ酸配列20残基は決定された。そのN末端アミノ酸配列に基づくDNA(デオキシリボ核酸)をプロープにして、ポプラのcDNAライブラリーから、目的のcDNAを単離した。このcDNAは1,653bpからなり、27アミノ酸残基からなるN末端シグナル配列と476アミノ酸残基からなる酵素タンパクをエンコードしていた。このcDNAは、本研究所で最初に単離された遺伝子である。この研究には、主に林と中村信吾(大学院生)が参加した。

木をかたちづくる遺伝子群を、樹幹で発現している遺伝子群に求めることは当然の成り行きであった。しかし、研究開始当時は、このような材料からRNA(リボ核酸)の抽出例すらなかった。樹幹で発現している遺伝子群を、機能を保持したまま抽出することは意外に困難であった。その抽出条件を詳細に検討することによって、ようやく樹木の遺伝子ライブラリーをつくることに成功した(黒田)。現在、木をかたちづくる遺伝子の実体に迫るため外堀を埋める実験が進行中である。この間、樹木分子生物学の進展の一部を、「糖鎖認識タンパク質——レクチン」「フェニルプロパノイド誘導体」などの総説・教科書にまとめる一方、50周年記念出版物の中では、木と草を対比させながら、木をかたちづくる遺伝子群の啓蒙に努めた(黒田)。

森川の開発したパーティクルガンにより、外来遺伝子をポプラ2次木部の細胞に導入し、一過性の遺伝子発現が起こることを確認した(黒田、森川)。この2次木部における一過性発現を、樹幹で発現している遺伝子上流域の解析に応用する目的で、パーティクルガンを新たに試作した(黒田、酒井)。この装置をより高度に完成させるために、沼田司(森永製菓株式会社)らの協力を得て、改良が進みつつある。

生化学制御分野との共同研究では、リグニン生合成系の研究が行われた。チョウセンレンギョウの培養系の検討を行う一方で、この物質が2量体化する際に関与するペルオキシターゼを、ザイモグラムで比較した(黒田、梅澤俊明、樋口隆昌、島田幹夫)。

### b 生化学制御分野

平成3(1991)年4月の木材研究所の木質科学研究所への改組により、当研究分野は旧リグニン化学部門を母胎として発足した。発足に際し、旧リグニン化学部門教授島田幹夫および同部門助手梅澤俊明が、それぞれ当研究分野に配置転換された。次いで、平成3年6月、服部武文が助手として着任した。さらに、平成5(1993)年4月、梅澤が助教授に昇任した。

当研究分野では、植物に学び、キノコに学ぶ生化学制御というキャッチフレーズを掲げて、森林生命科学における新分野を開拓しようとしている。改組当初は、リグニン微生物・酵素分解に関連する研究を継続してきたが、現在、下記のとおり主として2つの研究課題を重点的に行っている。

#### (1) 木材腐朽とシュウ酸の生化学

木材腐朽の現象は、古くから木材保存の研究領域で強い関心を集めてきた。しかし、近年リグニン生分解機構の解明が進み、木材腐朽菌類の生理学と生化学について再び興味が持たれている。最近、当研究分野で得られたシュウ酸に関する新しい知見は以下のようにまとめられる。①シュウ酸は低濃度ではセルロース分解に関与すると考えられるフェントン酸化反応を促進し、比較的高濃度では阻害するという現象を発見した。逆に高濃度では、pHを低下させて木材多糖類を加水分解していることを見出した。つまり、褐色腐朽菌は、酸化反応と加水分解反応の2つを交互に使って絶えずセルロースなどの木材多糖類の分解にシュウ酸を活用している。②褐色腐朽菌から初めてシュウ酸合成酵素、オキサロ酢酸加水分解酵素と新規グリオキシル酸化酵素を分離した。③白色腐朽菌においては、シュウ酸はリグニン分解酵素系を阻害することが見出された。したがって、白色腐朽菌ではリグニンの分解が阻害されないようにシュウ酸脱炭酸酵素系などを使いシュウ酸を分解

し、そのレベルを下げる仕組みが機能しているようである(島田、服部)。

## (2) リグナンの生合成機構

代表的な植物2次代謝産物の1つであるリグナンは、フェニルプロパノイドモノマーが2分子その側鎖の8位同士で結合した2量体であるが、以前からリグナンの生合成は種々の観点から広く興味が持たれている。例えば、①光学的に活性なリグナンは、その生合成にエナンチオ選択的な過程を含むと考えられており、その立体化学的制御機構を解明することは重要と考えられてきた。②また、リグナン生合成は、心材形成とも密接に関係していると考えられている。③さらに、多くのリグナンは、抗腫瘍性をはじめとする種々の生理活性を持っており、リグナン生合成の調節機構を解明することは、有用生理活性を持つリグナンの生物生産に対する基礎となる。リグナン生合成系については、最近梅澤らが、初めてリグナン生合成酵素を見出したところであり、現在この分野は活発に研究されている。当研究室では、リグナン生合成における立体化学制御機構の解明と関連してジベンジルブチロラクトン型リグナンの生合成にラリシレジノールが関与することを報告したが、その他、心材リグナンの生合成機構解明、および有用生理活性を持つリグナンの生合成機構の解明を目指して研究を行っている(島田、梅澤)。以上の2つの主要テーマのほかに、次のような関連プロジェクトも実施してきた。民間の研究機関と共同し、バガスリグニンをシイタケ菌によって腐朽させ、その抗ウイルス活性と、リグニンのキャラクタリゼーションを行った(島田、服部)。リグニン分解酵素のシュウ酸阻害機構の解析(島田、服部)、およびLCC(リグニン炭水化物複合体)モデルの分解機構の解明の研究も行っている(島田、梅澤)。これらの研究には、大学院生としては、五十幡俊成、田中憲文、時松敏明、および三井香代子が参加し、研修員として、馬登波(中国留学生)、赤松やすみ(福井県グリーンセンター)、梶原淳一(日本ケミカルリサーチ株式会社)が協力している。また、韓国政府奨学金を得た、安世喜および崔惇厦が、共同研究員として参加している。

c 細胞構造・機能分野

旧木材生物部門教授伊東隆夫を分野主任として、改組に伴って発足し、馬場啓一が平成3(1991)年助手に、杉山淳司(当時東京大学農学部)が平成5(1993)年助教授に採用されて、研究室としての陣容が整った。現在、セルロースの生成機構、結晶形態・構造と生物種の関連、細胞壁の構造と機能、木本植物の成長生理・2次組織の分化・発達、遺跡出土木材の樹種と用途、遺跡周辺の森林環境の復元について研究を進めている。

進化の過程での細胞壁の分化・発達に関しては、細胞壁構成成分の3次元構成の仕組み、セルロース合成酵素複合体と生物進化との関連、細胞壁主成分のセルロースマイクロフィブリルの生成ならびに配向制御機構などについて各種培養細胞を用いて、電子顕微鏡法、蛍光抗体法、組織化学手法、成分抽出法など細胞生物学的な手法により研究を進めている。これまで進めてきた具体的研究課題ならびに推進者は以下のとおりである。

海藻のセルロース性細胞壁の生成の仕組み(伊東)、ホヤのセルロースの発現機構(木村聡、伊東)、淡水緑藻の細胞壁の3次元構築の解析(藤野猛史<大学

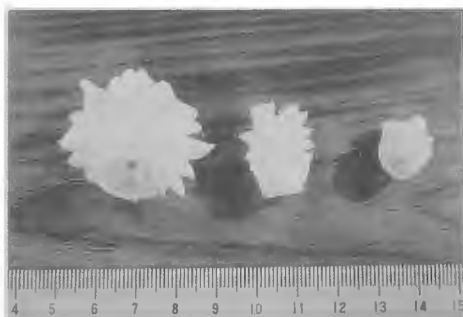


写真19-2 マボヤの皮のうを精製したもの。高等植物と同じセルロースからなる。(木質生命科学研究所大部門)

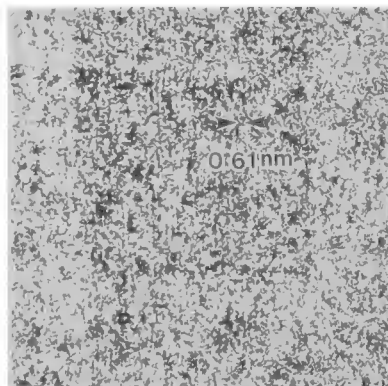


写真19-3 セルロース微結晶の拡大写真。分子の並び(格子像)が見える。(木質生命科学研究所大部門)

院生)、ワタの繊維の生成とマイクロフィブリルの配向制(岩切一樹<大学院生>、伊東)、急速凍結・ディープエッチング法によるポプラ培養細胞の壁の3次元構築(小川智亮<大学院生>、伊東)、トチノキのシュートの伸長に及ぼす微小管の役割(姜京徳<韓国全北大学校>、伊東)、電気刺激によるマイクロフィブリルの配向制御(鈴木潔、杉山、伊東)。

セルロースの構造と生物種による多様性に関しては、天然セルロースの2つの結晶構造、すなわち単斜晶と3斜晶の2つの相の存在比が植物種により変動していることから、構造の種特異性の要因、例えば進化との関連、合成や結晶化の機構、環境条件などとの関連を明らかにしようとしている。また、マイクロフィブリルは細胞壁中で機能的に配向しているが、その機構は解明されていない。1つの手がかりとして磁場や電場などの物理場に注目し、セルロース微結晶の水懸濁液中での挙動や、セルロース性細胞壁を生産する植物生体そのものに対する影響について研究している。これらの研究に関連する具体的研究課題ならびに推進者は以下のとおりである。2相モデルに基づく天然セルロースの結晶構造解析(杉山)、生物多様性とセルロース構造変動(杉山)、ホヤの系統とセルロースの結晶構造(岡本和巳<大学院生>、杉山)、物理場を利用したセルロースおよび類似多糖類の高配向化(杉山)。

木本植物の成長生理に関しては、地上部栄養体組織が長命であること、大量の2次木部(木材)・2次師部を蓄積することなどの木本植物の特徴に関わる生理現象の解明・樹皮の構造と形成などについて、組織学、電子顕微鏡学、免疫組織化学、生化学、分子生物学的手法を用いて研究を行っている。具体的には、傾斜刺激によって形成層活動が変化するあて材形成機構の分子生物学的研究(馬場、伊藤一弥<新王子製紙株式会社>)、休眠・休眠打破と窒素貯蔵・利用に関わるグルタミン合成酵素の消長と局在性(馬場)、熱帯樹木の木部形成の周期的変動(マレーシア農科大学と共同で研究。平成4年より調査・実験のため3回マレーシアを訪問している)(ジャリル<R. Jalil>、伊東)、しだれザクラのしだれ性の発現機構(馬場、中村輝子<日本女子大学>、伊東)、スギ科樹皮細胞壁中の結晶の消長(姜、伊東)などの研究を行っている。

## 第19章 木質科学研究所

遺跡出土木材の樹種と古環境の復元に関しては、各地遺跡から出土する木材ならびに木製品の樹種と用途の関係を地域ごとあるいは時代ごとに明らかにするとともに当時の遺跡周辺の森林環境を復元することを目的に研究を進めている。わが国は木の文化が栄えたとされており、古代より様々な木製品を利用してきたようである。しかし、その実態については調査すべき点が多々残されている。その一方で、埋没材の樹種を同定することにより、森林が埋没した当時の植生環境を復元する研究も行っている。これらに関連する具体的研究課題は以下のとおりである。

遺跡出土木製品の樹種と用途(伊東)、阿蘇山火砕流により埋没した森林の植生(松前智之<大学院生>、景守紀子<研修員>、伊東)、滋賀県内遺跡出土木材の樹種選択性(大山幹成<大学院生>、伊東)。

## 2. 木質バイオマス研究大部門

### a バイオマス変換分野

平成3(1991)年4月の改組に伴い、従来の木材化学研究室を継続・拡充する形でバイオマス変換研究室が発足した。教授である桑原正章は、木材化学が中心であった従来の研究室のイメージを一新し、リグニン分解酵素に関する微生物化学、酵素化学、遺伝子工学を研究室の中心テーマに据え、微生物を利用した木質バイオマス変換に関する研究に着手した。研究室は、桑原のほか、佐藤惺助教授、渡辺隆司助手でスタートしたが、抽出成分化学を専門とする佐藤は、平成4(1992)年に岐阜大学農学部教授として転出し、平成5(1993)年4月に本田与一が助手として着任した。桑原は、木質の分解過程におけるリグニン分解酵素の作用を検討し、リグニ

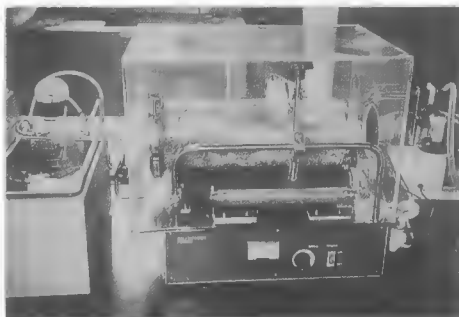


写真19-4 リグニン分解菌の固体回転培養  
(木質バイオマス研究大部門)

ン分解酵素の高生産株をスクリーニングするとともに、リグニン分解酵素の大量培養法に関する研究を進め、独自の回転式固体培養器やエアリーフト型培養器を開発した。また、白色腐朽菌によって生産されたりグニン分解酵素を精製し、その酵素化学的諸性質を調べるとともに、ポリエチレングリコールを精製酵素に結合させて有機溶媒可溶性酵素を作出した。現在、その酵素化学的諸性質を検討している。また、木質バイオマスの変換への担子菌の有用性に着目し、本田とともにヒラタケマンガンペルオキシダーゼの遺伝子クローニングや担子菌宿主—ベクター系の開発など、担子菌の分子生物学に関する基礎的研究を行っている。さらに、リグニン分解性担子菌の利用方法の1つとして、未利用木質バイオマスの酵素糖化への利用や飼料化に関しても研究を進めている。酵素糖化に関しては、従来よりセルロースを覆うリグニンがセルラーゼの反応を阻害する主要因と考えられているため、白色腐朽菌を用いてリグニンを分解・除去することにより酵素糖化率を増大させることを試みた。さらに、白色腐朽菌処理と爆砕との複合処理を行い、最大の酵素糖化率を与える最適条件をシミュレートした。未利用木質資源のコンポスト化に関しては、競走馬の厩舎より排出されるチップやリグノセルロース系廃棄物をコンポスト化するため、分解力の高い担子菌をスクリーニングするとともに、白色腐朽菌の培養条件に関する詳細な検討を行った。また、地球環境保全の見地から、バイオレメディエーションと木質の炭化に関する研究も行い、現在白色腐朽菌による各種染料の脱色試験や有害農薬の分解と木炭の環境浄化作用に関する研究が進行中である。

一方、糖質の構造分析とバイオマス変換に関しては、渡辺が酵素系による糖誘導体およびオリゴ糖の合成に関する研究に着手した。すなわち、セルロースより難消化性オリゴ糖であるセロビオースを生産するため、セルラーゼバイオリアクターを共同開発し、生産されたセロビオースの消化・吸収性、血糖値およびインスリン増大作用、腸内細菌増殖作用、短鎖脂肪酸生成率などの生理学的諸性質を示した。また、グリコシダーゼ精製のためのアフィニティークロマトグラフィー、グリコシダーゼやCGTase(シクロデキストリン

グルカノトランスフェラーゼ)の糖転移反応を利用した新規オリゴ糖の合成、リパーゼおよびプロテアーゼのエステル交換反応による重合性糖エステル合成などに関する研究を行っている。さらに、これらの糖質に関する研究のほか、クラフトパルプのバイオブリーチングに関する研究も進行中である。クラフトパルプの漂白に塩素系薬品を使用するとダイオキシンをはじめとする有害物質が生成する。このため、着色物質を酵素反応によって分解・除去することは世界的関心事となっている。こうした点を背景として、パルプ中のリグニン、LCC、無機物系着色物質の構造解析と、それらの微生物分解に関する研究を行っている。また、家畜の栄養生理との関連から、飼料作物中のLCCやリグニンが、羊の消化器系によってどのような構造変化を受けるかを東北農業試験場と共同研究中である。

バイオマス変換分野は、このように微生物学、酵素化学、遺伝子工学、木材化学、糖鎖工学を融合して、木質資源から有用物質を生産するための幅広い研究を行っている。また、これらの研究を遂行する一方で、海外からの共同研究者の受け入れも活発に行い、外国人学位取得者を輩出している。

### b 機能性高分子分野

改組に伴い、従来の木材化学研究部門の半分から、機能性高分子研究室が助教授前川英一、講師田中文男で発足した。当分野では、それまでの木材化学研究部門の中心的研究であった糖化学ならびに紙・パルプの研究を継承するとともに、有機化学ならびに物理科学を基礎とし、実験化学的手法と計算化学的手法を併用して糖質を含む木質高分子を原料とする分子設計を行い、新規な機能を有する機能性物質あるいは機能性材料の開発を行う研究を進めてきた。

前川は主として、有機化学の手法に基づき、実験化学的に多糖成分の化学的修飾を行ってきた。そして、セルロースを原料として、重金属イオンを選択的に捕集するキレート化合物の合成に成功した。これにより、特定の重金属イオンに汚染された河川、地下水や土壌からの重金属イオンの除去を効率よく行うのみならず、選択的に特定の重金属イオンを回収し、再利用するこ



とが可能となり、金属資源のリサイクルに一石を投じた。前川はその後平成5(1993)年10月に静岡大学に転出した。

一方、田中は主として物理化学の手法を活用し、X線結晶学的手法により木材多糖成分およびその誘導体の結晶構造、高次構造解析の研究を行い、超ミクロな分子鎖のコンフォメーションの領域から結晶構造、さらには電子顕微鏡で観察できる少し手前のミクロな結晶集合体の構造(高次構造)までを明らかにし、多糖成分の構造と機能の関係を明らかにする研究を行うとともに、極点図法を木材セルロースの3次元配向分布状態の測定に応用し、ミクロな木材成分分子の高次構造と性質をマクロな木材の性質に直接、定量的に結び付ける方法を開発し、多糖成分の超ミクロから高次構造までの構造が樹体維持にどのように寄与しているのかについて明らかにしてきた。

さらに、分子シミュレーションの手法を適用し、多糖成分の化学構造を変化させた時に、結晶構造、高次構造を含め、その分子のミクロからマクロに至る性質がどのように変化し、その影響が分子物性、マクロな物性にどのように現れてくるかについての研究を行い、多糖成分に新たな性質を与えるには化学構造をどのように変化させればよいかを推定する問題に取り組んできた。この分子シミュレーションの手法は、炭化水素やタンパク質などの研究分野では歴史も古く、ほぼ確立された手法といえるが、糖化学の分野では歴史が浅く、ようやく十数年が経過するのみであり、いまだ開発途上の手法である。田中は米国ニューヨーク州立大学と共同研究を行うことにより、この手法の確立のための基礎的研究にも力を注いでいる。

また、多糖誘導体の結晶構造解析の研究においては、セルロースエステル の結晶構造解析のように本学農学部との共同研究として行っている研究もある。

このようにして新たな機能を付与した多糖分子を実際に利用していくための1つの方法として、繊維状に加工した多糖成分を、製紙技術を応用して機能性シートとしてシートフォーミングを行ったり、また機能性膜として膜形成するための加工技術の開発に関する研究も行っている。

一方、平成6(1994)年1月に当分野に加わった助手井上雅文は、可塑剤としての水の存在下で木材に加熱・変形処理を施した後、変形状態を維持したまま除熱・乾燥することにより、木材成分の分子間相互作用の組み合わせを物理的に変化させ、変形を永久固定する技術を確立し、木材の密度、強度を自由にコントロールし、従来物理的性質ゆえに特定の材以外利用できなかった領域にまで材の利用範囲を広げることに成功し、木材資源の有効利用に貢献した。

### c 物性制御分野

改組に伴い、当分野に、木材物理部門から、則元京、師岡淳郎、野村隆哉が、それぞれ教授、助教授、助手として配属された。改組前、木材物理部門では、木材の物性に関する基礎研究や、木材利用のための目的基礎研究が進められていた。改組後も、それらの大部分が当分野の研究として継続されることになったが、これに加えて、物理・化学処理によって木材の物性を制御して、性能を向上させたり、新しい機能を付与して、木材の有効利用を図る研究が進められることになった。

研究課題として、細胞変形の解析、木材に吸着した水および溶媒類の誘電緩和機構、楽器用材の振動特性、竹の生長過程における構造と物性、木材の燻煙乾燥、木材の横圧縮加工、化学処理木材の構造と物性に関する研究などがあげられる。

細胞変形の解析の研究では、木材の水分による膨張・収縮や横圧縮により細胞横断面に生じる変形のレプリカをとり、その画像解析、フーリエ解析によって、最も統計的に多い細胞の変形を求め、分析する研究が、藤田稔(農学部助教授)の協力を得て、渡辺宇外(大学院生)、則元らによって進められている。

木材に吸着した水および溶媒類の誘電緩和機構の研究では、水および溶媒を吸着した木材の誘電特性を広い温度・周波数領域にわたり測定し、吸着した水および溶媒の誘電緩和過程を分離し、その機構を考察することが、横山操(大学院生)、則元らによって進められている。

楽器用材の振動特性の研究では、バイオリンの弓材であるペルナンブコ材と多くの他樹種材の振動特性を測定し、弓の適材を選別する方法や代替木材の検討が、湊和也(農学部助手)と共同で、杉山真樹(大学院生)、則元らによって、クラリネットのリードに用いられる葦材の振動

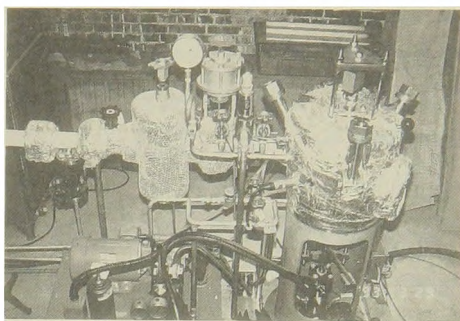


写真19-5 高温高压水蒸気処理圧縮試験機  
(木質バイオマス研究大部門)

特性とその改良などが、小幡谷栄一(大学院生)、則元によって進められている。

竹の生長過程における構造と物性の研究では、野村によって、タケノコから成竹に至る各段階での比重、ヤング率、強度などの物性や、節間長や結晶などの構造が調べられている。

木材の燻煙乾燥の研究では、生材丸太を燻煙熱処理し、丸太に蓄積している生長応力を緩和させ、製材後の狂いを低減させる研究が、野村によって進められている。

木材の横圧縮加工の研究では、基礎・応用の両面から研究が進められている。基礎面では、種々の温度・含水率条件で応力とひずみの関係を測定し、それらの関係式を求め、式に現れる定数と構造の関係が検討されている。また、従来、木材の横圧縮大変形の大部分が塑性変形と考えられていたが、その大半が回復することから、塑性変形でないことや、変形の回復する機構などが明らかにされている。さらに、ドラインゲットした圧縮大変形を、化学処理、樹脂処理、熱や高压水蒸気処理により永久固定することや、高压水蒸気処理過程で変形と応力を測定し、生じる木材の構造変化が調べられている。応用面では、スギ材など軟質で低級な木材を横圧縮加工し、硬さ、耐摩耗性、強度などの物性を向上させ、付加価値を増大させる研究が進められている。固定に高压水蒸気を用いる処理は、処理の時間が短く、木材の色や強

度の変化が少ないことから、極めて有効と考えられる。圧縮固定した木材の性質や性能の測定や、加工装置の開発などについて検討を進めている。これらの研究は、井上雅文、則元、師岡、劉一星(中国、東北林業大学)、井野辺陽、ドウィアント(W. Dwianto、インドネシア、大学院生)らによって行われている。

化学処理木材の構造と物性の研究では、種々の化学処理によって生じる構造変化を分類し、処理による物性変化を、実験的、あるいはモデル解析的に検討し、利用に適した木材の合理的な物性制御法について、秋津裕志(北海道立林産試験場)、グリル(J. Gril、フランス、モンペリエ第II大学)、杉山、則元らによって進められている。

### 3. 木質材料機能研究大部門

当大部門は、複合材料、劣化制御、および構造機能の3研究分野より構成され、改組以前の木質材料部門および高耐久性木材開発部門の研究領域を引き継いでいる。

#### a 複合材料分野

当分野は木材の高次複合構造に由来する諸機能を生かし、木質を基材とした複合技術、超高性能化技術を開発し、それらを応用して複合材料の設計、多機能および高機能性木質新素材の研究を行っている。

木質材料に現在最も期待されている機能に耐火性能があるが、従来、製造コストの負荷が大きく、優れた薬剤や製造技術の開発が十分でなかった。石原茂久教授とアイカ工業株式会社は、B-P系化合物の傾斜反応により廉価高性能の防火木質材料の開発実用化に成功し、畑俊充助手やスビヤクト(Sbyakto、インドネシア応用物理学研究・開発センター)らとの熱帯産早生樹種の新用途開発研究に継続発展させている。石原と日本化学産業株式会社はゾルーゲル法により木材・金属、木材・亜金属の耐火複合体の調製に成功し、金属、亜金属由来の特性の機能化を試みている。また、大日本インキ化学工業株式会社と石原はP-N系耐火塗料にTi、W化合物を併用し新しい多機能

性耐火塗料の開発を行っている。

木質からの新機能発現の試みとして、木材を60~3,000℃で減成、分解、焼成、炭素化等の木質の熱変換を行い、熱変換の各種温度段階で発現する多様な選択吸着性を応用した気相、液相にわたる画期的な環境浄化制御材料の開発研究が、石原、今村祐嗣助教授、畑と新明和工業株式会社、東洋電化工業株式会社との共同で行われている。また、高温焼成炭を超微粉末とし、それに接着性、成型性を付与する技術を開発したことにより(石原、リグナイト株式会社)、金属にまさる高度の導電性や電磁波遮蔽性を持つフィルム、シート、成型板の製造に成功し、多孔性、軽量の先端複合材料炭素素材として広範な可能性を石原、西宮耕栄(大学院生)とリグナイト株式会社、新明和工業株式会社が共同で進めている。

一方、木質の機能化においては、木材中に液体を十分に注入することが必要不可欠の基本技術となるが、従来内部まで含浸させることは至難のことであった。今村は木材組織の水分浸透経路の研究を踏まえ、飯田生穂(京都府立大学農学部講師)らと水分・熱状態での圧縮前処理法を開発し、難注入性木材であっても強度低下を小さくして内部まで均一に浸透させることに成功した。また、服部順昭(東京農工大学農学部助教授)らとレーザー光による木材のインサイジング技術を開発し、最大深さ100mmまで微小な穴をあけることを可能にし、フェノール樹脂の含浸処理や気相でのホルマール化処理をこれに併用して、高度な寸法安定性と耐久性を木材に付与することに成功した。

木材の劣化診断は、安全性の確保や的確な保守を進めていく上で重要な課題であるが、今村は藤井義久(農学部助教授)らとAE(アコースティック・エミッション)を木材の腐朽検出に応用し、極めて早期の腐れであっても非破壊的に検知できることを示した。また、この手法をシロアリの食害検出に利用できることを初めて見出し、摂食活動をリアルタイムにモニタリングすることに成功した。このAEモニタリング法は、さらに木材加害昆虫の摂食行動の解析に応用され、環境因子と行動生態との関わりについて新しい知見が得られている。

木材の耐候性は、屋外用途への木質材料の利用拡大に伴って社会的に要請されている研究課題であるが、今村、石原らは光劣化や雨水などによる木材表層での劣化挙動の研究を踏まえ、木材の表面性能の化学的変換や微小複合化技術によって高い性能を付与することを試みている。また、気候因子と表層劣化との関連性の解析、基材処理による高耐候性塗装技術の開発、外装材料の藻類汚染防止技術の開発を他の研究機関と共同で進めている。

### b 劣化制御分野

当分野では、旧木材研究所木材防腐防虫実験施設および高耐久性木材開発研究部門における蓄積を引き継ぎ、木材の劣化要因に関する生物学的、生態学的、生理学的研究を基礎とした劣化機構の解明と、その制御のための応用的研究を鋭意進めている。さらに、木材の欠点である「生物による劣化を受ける」「寸法が狂う」「燃える」の3点を除去・軽減しながら、新たな機能を付与する加工方法の開発に関する研究も行っている。

#### (1) 木材と無機物の複合化による新機能性木材の開発

高橋旨象教授、角田邦夫助教授、足立昭男技官らは、2種類の無機物水溶液を用いた2重拡散処理によって木材中に水不溶性化合物を生成させ、機能性の増大を達成すべく検討を重ねてきている。これまでの実験の結果、適切な処理条件を選ぶことにより難燃2級(準不燃)の木質材料の製造が可能になり、また生物劣化抵抗性に関しては、処理による重量増加率が低い場合でもかなり改善されることが明らかになった。現在、工業化に向けての検討が進められているところである。生物劣化抵抗性の発現機構についても、処理液に添加するホウ酸の役割(桐田真一<大学院生>、豊嶋勲<大学院生>)などが精力的に研究されている。

#### (2) 低毒性新規木材保存薬剤の適用

環境と調和した新しい木材保存システムの開発を目指し、各種低毒性化合物の防腐・防蟻室内試験によるスクリーニングを行うとともに、その作用機構(高橋、角田、吉村剛助手)、環境中での薬剤の分解過程(高橋、角田、吉村、ソーンヌワット<Y. Sornnuwat、論博研究生、タイ王立林野局>)などを検討して

いる。また、木材腐朽菌の薬剤耐性発現機構(永島晃治<大学院生>)や低毒性化合物を用いた新しい木材処理法(例えばハウ素化合物による気相処理<角田>など)についても研究を進めている。

### (3) シロアリの総合防除

薬剤だけに頼ったシロアリ予防・駆除処理からの転換を図るために、シロアリ、特に日本において経済的に重要な害虫であ

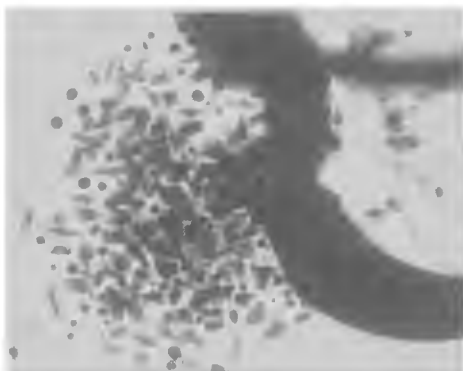


写真19-6 シロアリ消化管中の共生原生動物(木材分解の主役)(木質材料機能研究大部門)

るイエシロアリとヤマトシロアリに関する生物学的、生態学および生理学的基礎研究と、それを基にした新しい総合防除法の確立に努力している。例えば、木材の分解における腸内共生原生動物の役割(吉村、姜勝哲<大学院生>)、道しるべフェロモンの合成経路(所雅彦<大学院生>)および木材腐朽菌・腐朽材からの道しるべ物質の単離・同定(大村和香子<大学院生>)、岩石粉砕物を用いた物理的バリアー(角田)、昆虫寄生菌による生物的防除法(吉村)などが研究されている。これらの研究には、イエシロアリ人工飼育コロニーおよび鹿児島県吹上浜国有林内に設けた野外シロアリ試験地が活用されている。

### (4) 化学加工による物性・生物劣化抵抗性の改良

木材および木質材料に化学修飾や樹脂注入を行い、寸法安定性や生物劣化抵抗性を付与することによる高耐久化技術の確立を目指している。具体的には、ホルマール化および各種アルデヒド処理(ユスフ<S. Yusuf、インドネシア、大学院生>)、フェノール樹脂処理(柳在潤<韓国、大学院生>)、各種化学修飾木材の耐候性(スティアニ<Y. Sudiyani、インドネシア、大学院生>)などが現在検討されている。

c 構造機能分野

当分野は、旧木質材料部門が行ってきた木質材料の製造技術と木質構造への適用に関する研究のうち、主として後者の研究内容を担うべく、佐々木光教授、川井秀一助教授、瀧野真二郎助手の構成で発足した。改組後まだ日も浅く、旧木質材料部門の研究領域を受け継いでいるので、研究対象は多岐にわたっている。すなわち、新しい木質構造材料の開発研究とそれに付随する生産技術や機械の開発をはじめ、それらを建築部材として用いた場合の性能、例えば構造耐力や耐久性の評価、部材適用のための技術開発など、広範な研究を推進して今日に至っている。

(1) 蒸気噴射式連続プレスの設計試作

新しい熱圧成型技術として注目されている蒸気噴射プレス法に関して基礎的・応用的研究を行い、北川精機株式会社と協同で、2つの異なる機構を持つ蒸気噴射式連続プレスを世界に先駆けて設計試作した。このプレスを用いて厚さ10cmの低比重パーティクルボードを90秒のプレスサイクルで製造することに成功している(佐々木、川井、瀧野、スピヤント<B. Subiyanto、インドネシア、大学院生>、澤田豊<大学院生>)。最近では、大断面国産材 LVL(単板積層材)の連続成型技術の開発にこのプレスを応用し、大きな成果を収めた(川井、佐々木、王潜<中国、大学院生>、柳川靖夫<奈良県林業試験場>、近藤正己<大鹿振興株式会社>、白井文朗<株式会社日阪製作所>)。

(2) 中空円筒 LVL の連続成型技術の開発研究

FRP(繊維強化プラスチック)や紙管の成型技術を応用して、単板を積層しながら巻き上げ、中空円筒 LVL を連続成型する技術開発を行っている(佐々木、川井、原康之<大学院生>、山内秀文<大学院生>)。

(3) スティックランバー・スティックプライの開発研究

一定幅の単板端材を幅はぎ、縦継ぎして簾状の単板を作り、それらを積層して軽量の軸あるいはパネル材料を成型するための一連の生産システムの開発を行っている(山田雅章<静岡県林業技術センター>、川井、佐々木)。

(4) 軽量複合パネルの開発研究



発泡性接着剤と蒸気噴射プレスを応用して、比重0.1前後の厚物軽量ファイバーボードの開発に成功し、これを基材にした構造用軽量断熱パネルの連続成型に関する研究を行っている(川井、佐々木)。

#### (5) 木質—無機質複合ボードの新しい製造技術の開発研究

木片セメント板の硬化を早めるために、高温下で炭酸ガスを放出する化合物やイソシアネート樹脂を添加し、蒸気噴射プレスをを用いて熱圧し、圧縮数分でセメントを急結硬化させ、解压可能な技術を世界に先駆けて開発することに成功した。さらに、カラマツや竹な

どセメント硬化阻害成分を有する原料への適用にも成功している(エウセビオ<D. Eusebio、フィリピン、大学院生>、黒木康雄<非常勤講師>、永富辨<ニチハ株式会社>、馬靈飛<中国、外国人共同研究者>、川井、今村<複合材料分野>、佐々木)。

#### (6) 高圧水蒸気下の接着剤の硬化挙動の解明

フェノールやユリア等、木材接着に用いられる熱硬化性樹脂の高圧水蒸気下における硬化挙動を、物理的手法(粘弾性、溶媒抽出)や化学的手法(フーリエ変換赤外吸光分析<FTIR>、NMR)により解明している(梅村研二<大学院生>、水野泰嗣<大鹿振興株式会社>、川井、佐々木)。

#### (7) 高性能木質材料の開発研究

高圧蒸気処理や樹脂処理による圧密化 LVL の寸法安定化(川井、棚橋<岐阜大学農学部教授>、大田親義<株式会社日阪製作所>、中田欣作<奈良県林業試験場>、乾久朗<株式会社トーベック>、王、佐々木)、ならびに高圧蒸気を応用した高寸法安定性ファイバーボードの製造技術(岡本広志<大建工業株式会社>、佐野誠二<近畿大学農学部修士課程>、岡本忠<近畿大学農学部教授>、川井、佐々

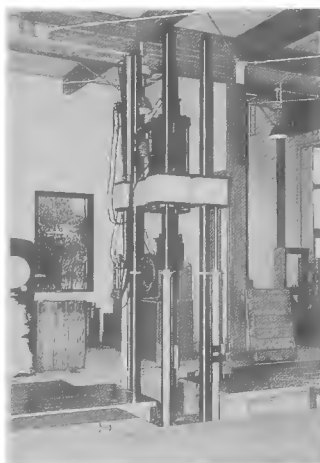


写真19-7 デジタル油圧式サーボ実験万能試験機(木質材料機能研究大部門)

## 第19章 木質科学研究所

木、ローウェル<R. Rowell、米国林産物研究所>、井上<機能性高分子分野>など、各種木質材料の高性能化技術の開発を行っている。さらに、MDF(中質繊維板)の高性能化、竹・シュート・バガス繊維の混抄による成型材料の開発を行っている(張敏<中国、大学院生>、山脇敏幸<大建工業株式会社>、川井、佐々木)。

### (8) 木質パネルの耐久性の評価

パーティクルボードのクリープや疲労など力学的耐久性を評価し、住宅の構造部材への適用について検討を加えている(瀧野、佐々木)。全国の公的機関や関連企業との協同で、各種木質パネルの屋内外暴露試験・促進劣化試験を組織的、体系的に実施し、耐久性の評価を試みている(川井)。また、化学処理を施したボードの耐久性を検討し、その優れた性能を実証した(梶田熙<京都府立大学農学部教授>、川井、今村)。

### (9) 集成材の性能評価

断面欠損を持つラミナを積層接着した集成材の強度性能を評価した(瀧野、安藤直人<株式会社ミサワホーム>)。

## 4. 木質環境客員部門

木材は、軽くて強く、適度に硬く、安心感を与える。色は、暖かく感じられ、木目模様は、適当に不規則で、自然で快い。木材には、特有の光沢と質感がある。また、木材は、吸放湿性に富み、熱伝導率が比較的小さく、木材で囲まれた空間では、湿度調節や温度調節が行われ、木材の香りは、気分を爽快にさせる。木材は、住環境を形成する材料として、多くの優れた特性を持っている。

当部門では、木材の住環境材料としての特性解明を行うが、その物理的性能面だけでなく、木材が人間の心理、衛生、健康、さらに、情緒の発達に及ぼす効果について追究する。そのためには、工学、生活科学、医学、さらに、人文科学や社会科学の分野の研究者の協力が必要であり、内容が学際的である。このような性格を持つことから、当部門は、客員部門とし、国内か

ら、他分野の専門家を客員として招き、当所研究者との共同研究を進めていく体制をとっている。

改組当時、本格的に研究を開始するための設備をはじめ、研究環境が十分に整っていないことから、まず、その整備から着手することになった。木材の居住特性を本格的に研究するため、木質構造を持ち、木材および木質材料をはじめ、種々の材料で内装した実験棟の建設が計画された。客員助教授として招いた木構造建築および室内音環境の専門家である安藤直人(株式会社ミサワホーム)の多大な協力を得て、平成5(1993)年度の末、木造3階建ての実験棟の完成をみた。

平成6年度から、磯田則生(奈良女子大学生活環境学部教授)を客員教授として招き、本格的な研究が開始されることになった。まず、実験棟の室内気候の観測が始められ、当所の鉄骨コンクリート造り6階建ての研究棟のそれとの比較がなされ、また、室内環境におけるおいが人間の心理、衛生、健康などに与える影響についての研究が計画されている。